



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

**МОШИНСЬКИЙ В.С., САСЮК З.К.**



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

---

**ПРОСТОРОВА ЕКСТРАПОЛЯЦІЯ  
У ЗАДАЧАХ ВІДТВОРЕННЯ  
ДАНИХ МОНІТОРИНГУ**

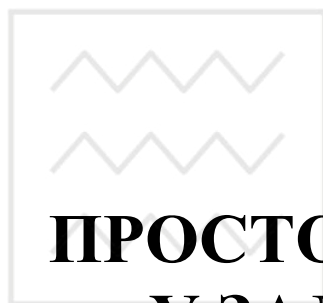
---



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет водного господарства та  
природокористування

**В.С. Мошинський, З.К. Сасюк**



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

**ПРОСТОРОВА ЕКСТРАПОЛЯЦІЯ  
У ЗАДАЧАХ ВІДТВОРЕННЯ  
ДАНИХ МОНІТОРИНГУ**

*Монографія*

Рівне – 2010



УДК 631.6001.57:504.064.003.13

ББК 40.63:45.2

M87

*Рекомендовано Вченою радою Національного університету водного господарства та природокористування.  
(Протокол № від )*

**Рецензенти:**

**Коваленко П.І.**, доктор техн. наук, академік УААН, професор Інституту гідротехніки та меліорації УААН, м. Київ;

**Лико Д.В.**, доктор с.-г. наук, професор Рівненського державного гуманітарного університету, м. Рівне;

**Клименко М.О.**, доктор с.-г. наук, професор Національного університету водного господарства та природокористування, м. Рівне;

**Будз М.Д.**, доктор географічних наук, професор Національного університету водного господарства та природокористування, м. Рівне.

**Мошинський В.С., Сасюк З.К.**

**M87** Просторова екстраполяція у задачах відтворення даних моніторингу: Монографія. - Рівне: НУВГП, 2010. – 184 с.

**ISBN 966-327-024-1**

У монографії викладено наукові засади просторової екстраполяції даних стаціонарних моніторингових спостережень у системі відтворення даних моніторингу осушуваних земель.

Застосування методів кореляційного та регресійного аналізу моніторингових та спеціальних даних дало змогу підтвердити гіпотезу про наявність і можливість кількісного опису явища квазісинхронності умов формування властивостей ґрунтів у територіально розрізаних пунктах осушуваних масивів. Викладені у монографії наукові результати вирішують завдання: виявлення основних багаторічних стохастичних закономірностей трансформованих діяльністю людини режимів осушуваних ґрунтів; встановлення імовірнісних параметрів розподілів показників стану осушуваних ґрунтів; розробки емпіричних математичних моделей динаміки і просторової мінливості ґрунтових змінних в різних пунктах осушуваних територій.

Впровадження запропонованих емпіричних моделей у практичній діяльності водогосподарських, землевпорядних, природоохоронних та інших зацікавлених організацій дозволить раціонально використовувати дані моніторингу, підвищити ефективність використання осушуваних земель.

Для наукових працівників, викладачів і студентів.

УДК 631.6001.57:504.064.003.13

ББК 40.63:45.2

ISBN 966-327-024-1

© Мошинський В.С., Сасюк З.К., 2010

© Національний університет водного господарства та природокористування, 2010



## ЗМІСТ

Вступне слово.....	5
Передмова.....	9
<b>РОЗДІЛ 1. ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОДОЛАННЯ КРИЗОВИХ ПРОЦЕСІВ НА ОСУШУВАНИХ ЗЕМЛЯХ УКРАЇНИ ....</b>	<b>11</b>
1.1. Осушувані землі України. Стан, рівень вивченості та основні процеси.....	11
1.2. Моніторинг осушуваних земель та напрями його розвитку в Україні.....	15
1.3. Завдання інформаційного забезпечення моніторингу осушуваних земель.....	18
Висновки до розділу.....	25
<b>РОЗДІЛ 2. ПРИРОДНІ ВЛАСТИВОСТІ ОБ’ЄКТІВ МОНІТОРИНГУ ТА ПОПЕРЕДНІЙ АНАЛІЗ ДАНИХ.....</b>	<b>26</b>
2.1. Характеристика природнокліматичних умов регіону.....	26
2.2. Характеристика об’єктів моніторингу.....	38
2.3. Особливості динаміки властивостей ґрунтового покриву досліджуваних територій.....	45
2.4. Методи досліджень і вимірювань.....	57
Висновки до розділу.....	63
<b>РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕМПІРИЧНИХ ТА ТЕОРЕТИЧНИХ ЗАКОНІВ РОЗПОДІЛУ ІМОВІРНОСТЕЙ ҐРУНТОВИХ ПОКАЗНИКІВ.....</b>	<b>65</b>
3.1. Вибіркові розподіли ґрунтових показників та їхня статистична апроксимація.....	66
3.2. Розрахунок параметрів розподілів ґрунтових показників та їхня оцінка.....	79
Висновки до розділу.....	87
<b>РОЗДІЛ 4. ЕМПІРИЧНІ МОДЕЛІ ВІДТВОРЕННЯ ДАНИХ МОНІТОРИНГУ ҐРУНТОВОГО ПОКРИВУ ОСУШУВАНИХ ЗЕМЕЛЬ.....</b>	<b>89</b>
4.1. Кореляційні зв’язки між даними, отриманими на різних стаціонарах, та побудова регресійних емпіричних моделей.....	89
4.2. Параметризація емпіричних моделей.....	108
Висновки до розділу.....	114
<b>РОЗДІЛ 5. ПЕРЕВІРКА ТА ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛЕЙ ВІДТВОРЕННЯ ДАНИХ.....</b>	<b>116</b>



5.1. Критерії перевірки адекватності емпіричних моделей.....	116
5.2. Перевірка емпіричних моделей за залежними даними моніторингових спостережень.....	120
5.3. Перевірка моделей на незалежних даних.....	133
Висновки до розділу.....	143
Заключне слово.....	145
Література.....	151
Додатки.....	175





## ВСТУПНЕ СЛОВО

У процесі реформування земельних відносин в Україні відбуваються процеси повної трансформації складу та територіальної структури землекористувань, з'являються нові землекористувачі та землевласники, змінюються підходи до використання земель, запроваджуються нові технології у сільському господарстві та інших галузях природокористування. Особливе місце у системі земельних ресурсів у зоні надлишкового зволоження України традиційно займають осушувані землі.

Не вдаючись в історію створення та розвитку осушуваних земель, або ж, як їх нині часто називають, земель з регульованим водним режимом, і попри жалюгідний сучасний рівень використання меліорованих земель в Україні, хотілося б відзначити важливу роль даного виду земельних ресурсів у формуванні життєвого простору, забезпеченні продуктами харчування, підвищенні якості життя, забезпеченні захисту від повеней та іншої несприятливої дії вод сільського та міського населення, а також їхню високу потенційну продуктивність і технологічну «приспосовуваність» до вимог і потреб сільськогосподарського виробництва. Виходячи з властивостей, сучасних реалій та перспектив розвитку меліорованих земель, вважаємо конче необхідним вже сьогодні активно розробляти та розвивати наукові засади ефективного управління ними на основі моніторингу всіх природних компонентів і у першу чергу – ґрунтового покриву.

Моніторингові дослідження осушуваних земель, які проводяться з кінця 80-х років минулого століття, є нині чи не єдиною надійною інформаційною базою контролю та управління. Нині потреба в інформації щодо еколого-меліоративного стану ґрунтів, в тому числі осушуваних, зростає. Це пов'язано з необхідністю визначення якості ґрунтово-земельних ресурсів, їхньої вартості, вирішення задач власності та межування, розробки рекомендацій щодо їх раціонального використання і збереження тощо. Все це зумовлює необхідність удосконалення методичних засад подальшого проведення робіт з еколого-



меліоративного моніторингу осушуваних земель та реалізації нових підходів до надання послуг землекористувачам, земельним, сільськогосподарським та водогосподарським організаціям з цих питань.

Сучасна інформаційна концепція еколого-меліоративного моніторингу щодо накопичення, зберігання і використання отриманої інформації полягає в тому, що вихідна просторова інформація про стан осушуваних земель повинна мати на лише загальнонаукове, а й практичне застосування для потреб кожного конкретного землекористування у розрізі земельної ділянки (населеного пункту, поля сівозміни або його частини тощо). Іншими словами, комплексна інформація про стан осушуваних земель повинна оброблятися і надаватися сільськогосподарським виробникам, земельним, меліоративним та природоохоронним установам з метою планування і розробки заходів щодо оптимізації та удосконалення структури землекористувань, оптимізації системи використання земель, раціонального управління їхньою продуктивністю та екологічною стійкістю. Шляхи отримання такої інформації на значних площах, не охоплених регулярними спостереженнями є нині *terra incognita* систем моніторингу земель, а сама процедура отримання такої інформації згідно з сучасною теорією моніторингу формує блок «відтворення» моніторингових даних.

Саме тому метою наших досліджень у рамках даної роботи була розробка наукових засад просторової екстраполяції даних стаціонарних моніторингових спостережень у системі відтворення даних моніторингу осушуваних земель.

Аналіз результатів ґрунтових досліджень, які є невід'ємною складовою еколого-меліоративного моніторингу на осушуваних об'єктах, розташування моніторингових мереж, ступеню вивченості ґрунтових процесів на осушуваних землях засвідчує реальну можливість моделювання ґрунтових процесів у часі і просторі, а отже можливість просторової екстраполяції даних у межах осушуваних земель.

Усвідомлюючи той факт, що задача моделювання при відомій високій складності, стохастичності, цілісності, відкритості тощо досліджуваних систем



є виключно складною і до цього часу в достатній мірі не розв'язаною, у процесі досягнення поставленої мети перед авторами постали наступні завдання:

- 1) дослідити сучасні проблеми моніторингу та оцінки стану осушуваних ґрунтів;
- 2) провести аналіз даних багаторічних моніторингових спостережень на осушуваних землях Рівненщини;
- 3) встановити основні багаторічні стохастичні закономірності трансформованих діяльністю людини режимів осушуваних ґрунтів;
- 4) встановити імовірнісні параметри розподілів показників стану осушуваних ґрунтів;
- 5) розробити емпіричні математичні моделі динаміки і просторової мінливості ґрунтових змінних в різних пунктах осушуваних територій;
- 6) перевірити та випробувати емпіричні моделі за даними еколого-меліоративного моніторингу в умовах осушуваних земель Західного Полісся та північно-західного Лісостепу України.

Для реалізації вказаних завдань і в процесі досліджень було висунуто роботу гіпотезу про наявність і можливість кількісного опису явища подібності (квазісинхронності) умов формування властивостей ґрунтів у різних пунктах осушуваних територій. Розвідувальний аналіз даних, а також їх статистичний аналіз підтвердили дану гіпотезу, що дозволило перейти до кореляційного та регресійного аналізів з побудовою відповідних екстраполяційних моделей.

На основі аналізу агрохімічних властивостей та сольового складу водної витяжки осушуваних ґрунтів у рамках даної роботи нами встановлено закономірності їхньої просторової динаміки, розроблено емпіричні моделі для розрахунку значень базових показників стану меліорованих сільськогосподарських земель, вдосконалено наукові засади відтворення даних еколого-меліоративного моніторингу осушуваних земель шляхом застосування просторової екстраполяції даних, запропоновані нові підходи до проведення оцінки





стану ґрунтового покриву осушуваних земель на базі даних еколого-меліоративного моніторингу.

Автори висловлюють сподівання, що ці непрості кроки у напрямку вдосконалення інформаційного забезпечення використання осушуваних земель наближать період розквіту сільського господарства та інших форм господарювання на меліорованих землях, такого довгоочікуваного всіма причетними до питань збереження і використання Української землі.



## ПЕРЕДМОВА

Серед наукових задач сучасної галузі моніторингу довкілля чи не найбільш малодослідженою і загадковою є проблема відтворення моніторингової інформації.

Справді, перед кожним дослідником, який у тій чи іншій мірі стикався з даними моніторингу, і передусім моніторингу земель, рано чи пізно постає логічне запитання: «Маємо ряди режимних стаціонарних спостережень. А що відбувається (відбувалося) там, поза межами моніторингових полігонів, стаціонарів, постів? Які умови створюються (створювалися) на неконтрольованих безпосередньо ділянках?». Відповіді на такого роду запитання годі шукати без проведення додаткових польових досліджень (а це дорого, складно і часто неможливо), або ж без застосування засобів математичного моделювання просторового розподілу контрольованих показників у межах контрольованих територіальних систем. Очевидно, що найчастіше обирають шлях моделювання, залучаючи для його подолання методи просторової інтерполяції та екстраполяції і намагаючись полегшити процедури поширення моніторингових даних через застосування сучасних стандартних програмних засобів ГІС (що, до речі, вдається не завжди) або ж (і що набагато складніше) йдуть другим шляхом, створюючи власну модельну базу зі специфічними можливостями але на початках, як правило, без «зручностей» ГІС, серед яких насамперед можливості візуалізації, прогнозування, формування універсальних баз даних, швидкісного перетворення результатів вимірювання і моделювання, топологічні, картографічні, дорадчі функції тощо.

Саме другим «тернистим» шляхом пішли автори даної книги у сподіванні на те, що розроблені підходи та емпіричні моделі стануть у пригоді не лише фахівцям у галузі використання та моніторингу земель (зокрема меліорованих), а й будуть використані спеціалістами з розробки програмних засобів геоінформатики, геоінформаційних технологій та ГІС-проектів, які об'єднавши зусилля

з усіма причетними до справи використання та охорони земельних ресурсів, працюватимуть на благо створення глобальної системи оптимального управління природними та природно-техногенними системами, формування інформаційного суспільства, переходу до сталого розвитку, інших злободенних завдань сучасного світу.

Автори висловлюють щирю подяку всім причетним до створення даної роботи, серед яких особливо нашим друзям і колегам, що живуть і нині працюють поряд з нами С.Т. Вознюку, О.І. Жовтоног, Г.П. Рябцевій, О.В. Цветовій, Т.М. Гладовській, а також В.Є. Алексєєвському, світла пам'ять про якого завжди у наших серцях.

З приємністю висловлюємо подяку за позитивну оцінку нашої праці, а також за цінні пропозиції і побажання рецензентам: доктору технічних наук, професору, академіку УААН П.І. Коваленку, директору Інституту гідротехніки і меліорації Української академії аграрних наук та доктору сільськогосподарських наук, професору М.О. Клименку, завідувачу кафедрою екології Національного університету водного господарства та природокористування.

Автори будуть вдячні читачам за конструктивні зауваження і пропозиції, які просимо надсилати за адресою: Факультет землеустрою, геодезії та геоінформатики, Національний університет водного господарства та природокористування, вул. Соборна 11, 33000, м. Рівне, Україна.



# 1. ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОДОЛАННЯ КРИЗОВИХ ПРОЦЕСІВ НА ОСУШУВАНИХ ЗЕМЛЯХ УКРАЇНИ



## 1.1. Осушені землі України. Стан, рівень вивченості та основні процеси

Осушені землі – важливий природно-техногенний ресурс, який характеризується складними і специфічними властивостями та режимами і займає значну територію нашої країни. В Україні нині існує майже 3 млн. га осушуваних земель і, крім того, близько 2,5 млн. га умовно можна віднести до прилеглих земель [234]. Меліорація земель виступає важливим фактором перетворення природних перезволожених земель. Класичними можна вважати підходи Костякова А.Н., Маслова Б.С. та ряду інших вчених [101,116,117], які розглядають меліорацію земель як складну систему оптимізації природного середовища з врахуванням створення високоефективного сільськогосподарського виробництва. Велике наукове та практичне значення для меліорації земель в північно-західних областях України мають роботи Перехреста С.М., Янголя А.М., Кубишкіна В.П., Тютюнника Д.А., Забочіної З.А., Алексеєвського В.Є., Потоцько-



го Г.С., Коваленка П.І., Булавко А.Г., Заржевського П.І., Івицького А.І., Мурашко А.І., Скоропанова С.Г., Шебеко В.Ф. та інших авторів [26,27,65,69,70, 74,75,103,104,145,146,172,173,220-225,262-264,252-254], які висвітлювали питання норм осушення, гідравлічних та фільтраційних розрахунків систематичного дренажу, глибокого розпушення ґрунтів важкого гранулометричного складу, проектування гідромеліоративних систем, особливостей водного режиму перезволожених земель у зв'язку з їх осушенням, водних властивостей торфових відкладів, гідрологічних розрахунків осушувальних систем.

Освоєння перезволожених ґрунтів стало причиною широкого кола наукових досліджень щодо особливостей формування ґрунтових процесів та режимів меліорованих гідроморфних ґрунтів, їх окультурення та підвищення продуктивності [91,110,113,220,233,238,247,249,252,253].

Значно менше вивчалися питання екологічних наслідків, збереження і охорони меліорованих ґрунтів. Однак, здійснення широкомасштабних робіт з осушення заболочених і перезволожених земель призвели до суттєвих змін у природних комплексах [92,126,152,240,242]. Характер змін, які спостерігаються на землях з регульованим водним режимом, визначається особливостями як інженерно-технічних, так і фізико-географічних факторів. До зафіксованих у процесі спостережень змін відносяться: зниження рівня ґрунтових вод, трансформація природних ландшафтів, погіршення режиму поверхневого стоку, зниження ґрунтової родючості і зміна водно-фізичних властивостей ґрунтів, зменшення кількості видів флори і фауни, розвиток шкідливих геологічних процесів, недостатній приріст врожайності сільськогосподарських культур [4–6,36-40,69,85, 87,88,90,93,136,240,251]. Інтенсивність змін залежить від сили і тривалості дії меліоративних заходів, а також від стійкості природних комплексів та сільськогосподарських агросистем [10,13,22,26,85,88,104,114,117,160,172, 208].

Важливе місце серед природоохоронних проблем нині займають несприятливі процеси на осушуваних землях України. Дослідженнями В.Є. Алексєєвського, С.Т. Вознюка, М.О. Клименка, П.І. Коваленка, В.В. Медведєва, В.С. Мо-



шинського, І.Ю. Насєдкіна, М.І. Ромашенка, Г.П. Рябцевої, О.В. Скрипника, Р.С. Трускавецького, О.В. Цветової та багатьох інших авторів [4-10,19,24-25,37-37,85-86,93,98,117, 122,129,151-152,208,223-224,240,255] встановлено, що в межах осушуваних масивів та на прилеглих до них територіях спостерігаються:

- 1) переосушення земель і, у зв'язку з цим, виснаження вод четвертинного водоносного горизонту та напірних міжшарових вод;
- 2) вторинне заболочування осушуваних земель через недоліки у експлуатації осушувальної мережі;
- 3) геодинамічні процеси: осідання торфу, суфозія та карстоутворення;
- 4) процеси водної та вітрової ерозії;
- 5) засолення органогенних ґрунтів, у першу чергу за рахунок зміни їхнього водного режиму;
- 6) зміна гідрохімічного режиму та забруднення підземних вод;
- 7) зміна гідрографічної мережі та площ осушуваних водозаборів;
- 8) зміни видового складу рослинності та площ проективного покриття у фітоценозах тощо.

Використання осушуваних ґрунтів як засобу виробництва зумовлює зміни у його складі, властивостях і режимах. Вони можуть носити прогресивний або ж регресивний характер. Меліорація та сільськогосподарське освоєння ґрунтів приводять до помітних змін температурного та водного режимів. Осушення ґрунтів легкого гранулометричного складу призводить до зниження рівня їх продуктивності [28,37,45,47,66,88,90,123-125]. Існує досить багато даних про зниження вмісту гумусу, зміни його якісного складу в різних типах ґрунтів в результаті тривалого сільськогосподарського використання [51,147,177,178].

Велика кількість наукових надбань щодо вивчення впливу осушувальних меліорацій присвячена питанням водного режиму, одним з критеріїв якого є рівень залягання ґрунтових вод. В результаті зниження рівня ґрунтових вод під дією процесу осушення змінюються водно-фізичні властивості ґрунтів. Наука та практика нагромадила значну кількість даних про те, які глибокі зміни вод-



но-фізичних властивостей ґрунтів відбуваються під впливом осушувальних меліорацій [6,10,13,42,45,66,70,98].

Для меліорованих мінеральних гідроморфних ґрунтів, що характеризуються переважно низьким вмістом поживних речовин, важливе значення мають закономірності формування поживного режиму в процесі їхнього сільськогосподарського використання. На осушуваних дерново-підзолистих ґрунтах формування поживного режиму має ряд особливостей. Дія дренажу сприяє виносу поживних елементів з дренажними водами у водоприймачі. Такі втрати складають значну частину від внесених добрив [62,69,106,122], що має негативні економічні та природоохоронні наслідки. Склад та особливості генезису осушуваних ґрунтів впливають на вміст рухомих форм поживних елементів. Для дерново-підзолистих піщаних ґрунтів характерний низький вміст обмінного калію та азоту і вищий вміст рухомого фосфору [52,64]. Для торфово-болотних меліорованих ґрунтів типовою є низька забезпеченість фосфором та калієм та підвищена – азотом, тому при вивченні поживного режиму торфових ґрунтів основна увага приділялася дослідженню фосфорно-калійних умов [47,62,106]. Питання особливостей формування поживного режиму в процесі осушення найкраще вивчене для торфових ґрунтів, для інших типів ґрунтів це питання висвітлене в значно меншій мірі [29,60,239,250].

Важливу роль у ґрунтоутворенні та родючості осушуваних ґрунтів відіграє кислотний та окисно-відновний режими, оскільки з ними пов'язані темпи накопичення і склад органічних речовин, що утворюються, перетворення органічних решток [81,82], діяльність мікроорганізмів, поведінка сполук азоту, фосфору, заліза, марганцю, сірки [160,162]. Вивченню окисно-відновного режиму торфових ґрунтів присвячені роботи [23,43,60,67,81,227], в яких відмічені специфічні особливості в розвитку окисно-відновних процесів цих ґрунтів під впливом органічної речовини торфу, більшої вологості, рівнів ґрунтових вод, високого вмісту сполук зі змінною валентністю. Окисно-відновний режим дерново-підзолистих ґрунтів вивчався у різні періоди цілим рядом авторів



[89,96,105,122,163,217]. Встановлено, що дерново-підзолисті ґрунти мають високий окисно-відновний потенціал, який визначається гранулометричним складом, напрямом та інтенсивністю ґрунтоутворних процесів, їхнім гідротермічним режимом. Динаміка окисно-відновного потенціалу є важливим діагностичним та моніторинговим показником [29,161], а тому важливо досліджувати динаміку окисно-відновного режиму під впливом різних агротехнічних та агроеліоративних факторів, закономірності його просторово-часового розподілу та оцінювати його з точки зору сучасного екологічного підходу.

Підсумовуючи сказане, можна зробити висновок про те, що меліоровані ґрунти, як природні системи з порушеними механізмами саморегуляції, у першу чергу і в найбільшій мірі піддаються трансформації під дією антропогенного впливу. Зміни властивостей і режимів у меліорованих природних системах, і у першу чергу у ґрунтах, які відбуваються під дією осушення та сільськогосподарського використання, суттєво впливають на агроекологічний стан як осушуваних земель, так і прилеглих територій, тому питання всебічного контролю стану та екологічного захисту меліорованих ґрунтів на всій території гумідної зони України, безперечно, є одним з найбільш пріоритетних завдань меліорації, землекористування і охорони природного середовища.

## **1.2. Моніторинг осушуваних земель та напрями його розвитку в Україні**

Концепція глобального моніторингу природного середовища була запропонована ще у 1971 р. науковим комітетом із проблем навколишнього природного середовища Міжнародної ради наукових спілок. Моніторингом було названо систему повторних спостережень одного або більше елементів навколишнього природного середовища в просторі та в часі.

Близьку концепцію глобального моніторингу запровадив Ю.А. Ізраель [76]. Він запропонував називати моніторингом систему спостережень, оцінки і





прогнозу антропогенних змін стану навколишнього природного середовища.

В Україні та світі нині розроблена концепція ґрунтового моніторингу [12,29,136,149,199,232], згідно з якою мета моніторингу – отримання інформації для вироблення управлінських рішень щодо стабілізації і поліпшення якості ґрунтів, екологізації землеробства та відтворення родючості ґрунтів.

Нині у більшості систем моніторингу територіальних систем виділяють три рівні моніторингу: біосферний, біоекологічний, геосистемний. В останній входять як природні геосистеми, так і природно-господарські, як наприклад, осушувальні системи. Що ж стосується останніх, найбільш обґрунтованою ідеєю організації служби контролю і управління станом осушуваних земель у зоні меліорацій є ідея еколого-меліоративного моніторингу, який є різновидом геосистемного моніторингу і складовою частиною територіального моніторингу. Під *еколого-меліоративним моніторингом* (ЕММ) розуміють систему комплексних спостережень, оцінки і прогнозу меліоративного стану осушених земель і прилеглих до них територій [7,9,11,93,98,139,236,251]. Мета здійснення моніторингу – отримання інформації про стан земель на осушуваних і прилеглих до них територіях, оцінка і прогноз стану осушуваних земель.

Як і більшість моніторингових систем, ЕММ є системою, яка складається з таких функціональних блоків:

- блоку збору даних;
- блоку первинної обробки, сортування даних;
- блоку відтворення інформації;
- блоку візуалізації інформації;
- блоку моделювання і прогнозування

Об'єктом моніторингових досліджень для збору даних відповідно до діючих норм є типова осушувальна система (або частина системи), яка найбільш повно характеризує особливості природних умов природного регіону, а також різноманітність способів осушення, рівня експлуатації, сільськогосподарського використання [5,8,12] тощо. Що стосується видів спостережень і досліджень та їхніх обсягів в межах типових осушуваних систем, то вони визначаються при-



родними особливостями і водогосподарськими умовами об'єкту, а також наявністю на типових осушувальних системах діючих пунктів проведення спостережень (моніторингових полігонів) за компонентами природного середовища [11,179] та об'єктами техносфери. Типові осушувальні системи поєднують природні та меліоративні умови. При цьому контролюються: ґрунти, літологічний склад порід зони аерації, гідрогеологічні та геоморфологічні умови, умови водного живлення земель, перелік меліоративних заходів, меліоративний стан осушуваних земель, господарське використання меліорованої території тощо. Крім того, при виборі типових систем враховується наявна інформація про водний режим, водний баланс, агрохімічна характеристика ґрунтів, ступінь засолення, стан осушувальної мережі, ступінь меліоративного впливу на природне середовище та деякі інші.

Види, обсяги і терміни спостережень при здійсненні моніторингу на типових системах визначаються ВБН 33-5.5-01-97 «Організація і ведення еколого-меліоративного моніторингу на меліорованих землях. Частина 2. Осушувальні землі», державними стандартами, іншими нормативно-методичними документами. Програми та зміст моніторингу включають створення стаціонарних дослідних масивів і ділянок, проведення періодичних обстежень окремих компонентів, з використанням існуючих служб безперервного та періодичного стеження за станом рівнів ґрунтових вод, ґрунтового покриву, агрохімічних властивостей та забрудненості орного шару ґрунтів, гідрохімічних характеристик поверхневих та підґрунтових вод.

Таким чином, збір даних про стан осушуваних земель відбувається з певними проблемами, але регулярно і достатньо науково обґрунтовано. Нажаль решта блоків ЕММ має цілий ряд серйозних проблем, до яких можна віднести:

- низький рівень застосування автоматизованих методів первинної обробки та сортування даних;
- майже повна відсутність розроблених та апробованих кількісних методів відтворення даних ЕММ;



- низький рівень застосування сучасних програмних засобів ГІС для обробки та візуалізації моніторингової інформації;
- низький рівень застосування можливостей і засобів математичного моделювання стану та поведінки земель в умовах господарського використання, а також методів прогнозування станів та поведінки осушуваних земель за умов врахування різних сценаріїв розвитку природних та техніко-економічних умов територій.

Все це суттєво обмежує високий інформаційно-дорадницький потенціал системи ЕММ, не дозволяє давати адекватні та оперативні відповіді на економічні, природоохоронні, землевпорядні та інші виклики сьогодення.

Така ситуація змусила нас взятися до вдосконалення, хоча б у першому наближенні, найслабшої ланки – ланки відтворення даних, шукаючи успіху на шляхах розробки імовірнісних модельних засобів відтворення даних ЕММ і даючи собі звіт у тому, що методи інтерполяції та екстраполяції не можуть претендувати на роль досконалих при описі і моделюванні таких складних систем як осушувані землі. Все ж вважаємо такий шлях на даному етапі обґрунтованим і сподіваємося на те, що ці та подальші дослідження і розробки дозволять, маючи достатню інформацію про властивості окремих ділянок осушувальних систем та характер окремих її елементів, розробити і застосувати просторово-часові алгоритми та методи оптимальної і поліноміальної інтерполяції, інтерполяційні сплайн-функцій, методи групового урахування елементів, еволюційного моделювання, диференціальної апроксимації, імітаційного моделювання, інші, більш точні та ефективні, методи і підходи.

### **1.3. Завдання інформаційного забезпечення моніторингу осушуваних земель**

Проблема організації і ведення моніторингу осушуваних земель та їх окремих складових є однією з найактуальніших у сучасних меліоративних, аграрних та землевпорядних дисциплінах і ставить перед нами цілий ряд науко-



вих, методичних і організаційних питань.

Моніторинг ґрунтів є головною ланкою ЕММ. Однією з важливих складових методичної основи ґрунтового еколого-меліоративного моніторингу є система показників контролю стану ґрунту, за якими можна оцінювати ґрунтовий покрив меліорованих земель у процесі виявлення зворотних інформаційних зв'язків від комплексу управлінських впливів на ґрунтові режими і процеси. Слід зазначити, що у загальному випадку маємо справу, з одного боку – з недосконалістю критеріїв оцінки (обумовленою нестачею потрібної інформації, високою різноманітністю явищ, які характеризують стан та динаміку ґрунтів), а з іншого боку – з відсутністю необхідних просторово розподілених семантичних даних про стан ґрунтів. Так для контролю стану меліорованих ґрунтів вченими Національного наукового центру «Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського» вироблено досить обґрунтований загальний набір з 32-х показників, до переліку яких входять: вміст гумусу, рН сольовий, гідролітична кислотність, азот нітратний і аміачний, рухомі форми  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ , рухомі форми важких металів, вміст нітратів у рослинах тощо. Такий набір ґрунтових показників дозволяє досить повно оцінювати стан ґрунтового покриву осушуваних земель. І таких переліків і підходів в Україні та інших країнах розроблено десятки. Але найбільш широко вживані принципи, розроблені групами фахівців з Національного університету водного господарства та природокористування, Інституту гідротехніки і меліорації УААН, Національного університету біотехнологій та природокористування та деякими іншими. Однак, проблема полягає в тому, що яким би обґрунтованим і бездоганим (що у засаді не можливо) не був перелік, самі показники визначаються тільки в одному-двох, максимум – в трьох-чотирьох пунктах моніторингу (моніторингових полігонах) на одному осушуваному масиві. При цьому будь-яка характеристика ґрунтового покриву осушуваних земель є не лише моментальною, тобто отриманою на деякий фіксований момент часу, але й локальною, тобто отриманою у певних визначених точках контрольованої території (яка не рідко сягає десятків тисяч гектарів!).



Мало того – більша частина осушуваних земель взагалі знаходиться поза систематичним контролем. Зрозуміло, що отримана таким чином інформація є лишень деяким відображенням (і досить спотвореним) реального стану і не може у повній мірі відповідати ані вимогам моніторингових досліджень, ані потребам землевпорядного, сільськогосподарського та меліоративного комплексів.

Не випадково більшість авторів, коментуючи відсутність єдиних науково обґрунтованих критеріїв та інформаційних підходів до оцінки екологічної обстановки на осушуваних землях, розглядають оцінку загального стану меліорованих земель на території Українського Полісся лише як попередню, що вимагає надалі уточнення та коригування шляхом проведення додаткових та нових досліджень, спостережень і теоретичних розробок [11,124,137,138,251,29]. Така ситуація спонукає нас до пошуку нових альтернативних рішень щодо проведення моніторингу, створення нових методологічних підходів до реалізації наукових принципів моніторингу осушуваних земель з метою його вдосконалення, мобілізації наявних інформаційних ресурсів, поширення моніторингових спостережень на неконтрольовані території, а також на землі прилеглі до осушуваних масивів. Найбільш теоретично реальним та практично запитаним, на нашу думку, нині є шлях розробки наукових засад відтворення моніторингових даних за допомогою типологічного аналізу ґрунтового покриття, розробки і застосування специфічних статистичних процедур екстраполяції.

Завершальним етапом обробки моніторингової інформації про стан земельних ресурсів є оцінка та прогнозування їхнього стану на основі спеціальних багаторічних стаціонарних спостережень за ґрунтовим покриттям. Значна кількість публікацій, присвячених різноманітним аспектам динамічного моделювання ґрунтових процесів на різних рівнях – від традиційних емпіричних трендових моделей та імітаційних функціональних моделей фізико-хімічних процесів на іонно-молекулярному рівні до моделей просторово-часової динаміки ґрунтів в масштабах ландшафтів, ґрунтових зон і континентів, підтверджує високу актуальність цього питання.



У галузі математичного та інформаційного забезпечення процесів ґрунтових досліджень на меліорованих та богарних землях найбільш глибокі традиції склалися у розробці математичних моделей процесів, моделей родючості та моделей визначення проектного рівня врожайності.

Математичне моделювання процесів у інформаційній структурі природних та природно-техногенних систем (біосистем, екосистем, агроекосистем, геоекосистем тощо) є досить давньою і добре розвинутою галуззю науки. У сільськогосподарських та біологічних науках нині розроблено сотні концептуальних і математичних моделей такого типу, що базуються на різних математичних методах і внутрішніх конструктивних принципах функціонування та поведінки модельованих систем. Протягом останніх десятиріч розроблено ряд концептуальних моделей управління родючістю ґрунтів, серед яких найбільш розробленими є моделі Зайдельмана Ф.Р., Кауричева І.С., Клименка М.О., Медведєва В.В. та ін. [81,88,122,149,229]. Зокрема можна відмітити цікаві розробки з вологопереносу в ґрунті Веріго С.А., Разумової Л.А., Окулика Н.В., Зайдельмана Ф.Р., Рокочинського А.М., Шебеко В.Ф. та ін. [32,67,158,206]. Прогноз рівнів ґрунтових вод з використанням балансового методу досить широко висвітлений в наукових працях Маслова Б.С., Алексієвського В.Є. та ін. [13,98,99,116,118].

Ідеї функціонального та імітаційного моделювання процесів, які визначають продуктивність земель, родючість ґрунту, енергетичні, матеріальні та інформаційні кругообіги у системі *ґрунт – рослина – навколишнє середовище* набули широкого розвитку лише в останні десятиріччя на фоні значних і загальноновизнаних успіхів математичного моделювання продуктивності сільськогосподарських культур як функції ґрунтових змінних. Це стосується робіт В. Байєра, Дж. Г.М. Торнлі, Р. Дж. Хенкса, Айдарова І.П., Галяміна Є.П., Остапчика В.П., Чудновського А.Ф., Польового А.Н., Полуєктова Р.А., Рекса Л.М., Тоомінга Х.Г., Строганова М.А., Верігіна Н.Н., Мошинського В.С., Рокочинського А.М. та багатьох інших вітчизняних та зарубіжних вчених [14,57,58,174,235,231,141,142,154,155,209,237,246,256,258,265,270]. Моделі дозволяють кількісно



(хоча й завжди приблизно) описати складні реальні системи за допомогою сукупності рівнянь, які імітують поведінку цієї системи при зміні функціонування її підсистем та зовнішніх умов (вхідних змінних моделі). Такі моделі придатні для інтерпретації результатів експериментального вивчення систем, спостережень за системами та оцінки їхнього стану, управління ними, прогнозування їхньої поведінки, інших наукових і практичних завдань. При всьому розмаїтті можливостей такого роду моделей, їхнє застосування для потреб відтворення моніторингової інформації вбачається нами малоперспективним. Причини цьому – низька адаптивність, висока складність та орієнтованість на розрахунок емерджентних інтегральних (зазвичай продуктивних) властивостей агроекосистем. Мабуть тому здавна основний інтерес у науках, пов'язаних з просторово розподіленими даними, було зосереджено на розробці статистичних методів інтерполяції, екстраполяції, кластеризації тощо, що базуються на відомостях з теорії ймовірностей, математичної статистики та теорії випадкових процесів.

Не зважаючи на суттєві концептуальні недоліки таких статистичних підходів, найбільшого поширення у науках, близьких до завдань моніторингу земель, набули порівняно прості з точки зору математики емпіричні моделі, що базуються на кореляційному і регресійному аналізах поведінки модельованої системи або варіації її окремих змінних. При цьому регресійний аналіз дає змогу побудувати, виходячи з масиву експериментальних даних, рівняння заданого виду і розмірності. Кореляційний аналіз дає уявлення про те, наскільки тісно експериментальні дані у контрольних пунктах узгоджуються між собою та з отриманими за рівняннями регресії (емпіричними моделями). Такі підходи широко використовуються при характеристиці режимів і властивостей ґрунтів, а також (хоч і з меншим успіхом) їх впливу на врожайність сільськогосподарських культур. Теоретична розробленість і пізнавальна цінність таких моделей є незаперечною, а можливості їх застосування досить широкими [15,79,83,84, 204]. Спробуємо й ми скористатися такими апробованими підходами у випадку моделювання просторової мінливості властивостей меліорованих ґрунтів.



Завдання, поставлені у рамках цієї роботи, суттєво полегшує наявність накопиченої об'ємної бази даних моніторингу меліорованих земель. За останні 22 роки вітчизняними службами моніторингу в системі Держводгоспу накопичено достатньо ґрунтових даних, придатних, після проведення їх розвідувального аналізу та попередньої обробки, для пошуку фундаментальних статистичних закономірностей поведінки контрольованих систем і побудови на їхній основі математичних моделей відтворення моніторингової інформації про просторовий розподіл значень базових змінних у межах осушуваних територій.

Природа ґрунтових процесів, характер причинно-наслідкових зв'язків і законів, які керують ними, є складною та імовірнісною. Саме тому звичні для класичної теорії аналізу методи математичних досліджень, які базуються на припущенні динамічності поведінки об'єктів, виявляються безсилими для аналізу багатьох просторових ґрунтових процесів. Складність ґрунту як відкритої багатопараметричної динамічної системи робить математико-статистичний підхід необхідним, але одночасно і дуже складним. На наш погляд, найбільші складності створюють не суто математичні аспекти (вони є універсальними для всіх наук), а недостатня вивченість осушуваних ґрунтів як об'єкту моделювання [57,215].

Як стає відомо із робіт Дж. Ацци, Є.С. Уланової, Г.Л. Стенчикова, Д.С. Степанова, А.М. Владимірова, В.А. Шелутко та ін. [17,243,230,80,34,257,218, 53,169,204,79,83,112,244,3,48], якість моделювання залежить від знання всієї різноманітності можливих ситуацій, які можуть впливати на значення вхідних параметрів моделей. Накопичення інформації про варіабельність ґрунтових властивостей дає можливість встановити характерні просторові та часові розподіли (залежності), що дозволяє оцінювати можливі зміни різних властивостей в результаті протікання тих чи інших процесів на досліджуваних територіях.

Аналіз наявних розробок показує, що в усіх природничих науках широко використовуються статистичні (кореляційний, регресійний, методи інтерполяції та екстраполяції тощо) методи моделювання [34,49,53,56,83 та ін.]. Такі методи





є надійними і добре розробленими, ґрунтуються на достовірних даних, багаторічних комплексних дослідженнях в тій чи іншій галузі. Тому застосування таких методів моделювання є, на нашу думку, цілком обґрунтованим при відтворенні моніторингової інформації про стан осушуваних земель та прилеглих до них територій. На користь такого підходу свідчить також теорія та практика інтерполяційних розрахунків в рамках ГІС, де давно і успішно (у тому числі у спеціальних пакетах прикладних програм) використовуються різноманітні статистичні процедури інтерполяції: поліноміальної, оптимальної, сплайн-інтерполяції, крігінгу тощо.

Практика наукової діяльності авторів, а також проведений аналіз літературних джерел свідчать, що для осушуваних ґрунтів України недостатньо вивченими є наступні питання:

- закономірності та особливості імовірнісних розподілів ґрунтових показників в просторі та часі;
- залежності між ґрунтовими змінними в різних пунктах простору;
- реальний стан земельного і водного фонду з урахуванням технологічного рівня і впливу погодних умов;
- механізми функціонування ґрунтів у просторі і часі тощо.

Всі ці невирішені проблеми не дають змоги науково обґрунтувати та розробити теоретичні шляхи відтворення і використання даних багаторічних моніторингових спостережень та на їх основі оптимізувати проведення процедур оцінки осушуваних ґрунтово-земельних ресурсів.

У такому випадку варто надати належну увагу розробці і впровадженню на практиці теоретичних шляхів поширення даних моніторингових спостережень та досліджень на території, які не охоплені стаціонарними дослідженнями, при допомозі інформаційної системи моніторингу та математичного моделювання. Вони необхідні для узагальнення результатів моніторингових спостережень, вдосконалення процедур оцінки та прогнозування еколого-меліоративного стану осушуваних ґрунтів. Більш того, отримана інформація може надаватися



сільськогосподарським виробникам, природоохоронним та меліоративним службам з метою вдосконалення структури землекористувань, оптимізації системи землеробства вирішення інших практичних завдань.

## Висновки до розділу

1. Значна кількість досліджень, присвячених проблематиці освоєння та сільськогосподарського використання осушуваних земель, проведенню моніторингових та природоохоронних спостережень, свідчить про те, що поряд із суттєвими досягненнями в галузі еколого-меліоративного моніторингу існує низка проблем, які потребують негайного їх вирішення. Однією із найбільш актуальних нині є проблема практичного застосування моніторингових досліджень та відсутність наукових методів інтерпретації даних для окремих землекористувачів та сільгоспвиробників, управлінь сільського та водного господарства, природоохоронних установ тощо.

2. Подальше сільськогосподарське використання осушуваних ґрунтів потребує врахування змін, які є результатом їхнього сільськогосподарського використання. На основі багаторічних моніторингових спостережень накопичено велику інформаційну базу, яка є потенційно цінною для споживачів. Необхідна розробка нових теоретичних шляхів поширення моніторингової інформації на неконтрольовані території осушуваних земель та прилеглі до них землі на базі математичного моделювання.

3. Застосування емпіричних математичних моделей для просторової екстраполяції даних моніторингу меліорованих земель дозволяє враховувати закономірності та особливості імовірнісних розподілів ґрунтових показників в просторі та часі, залежності між ґрунтовими показниками в різних точках простору, лімітуючі параметри ґрунтів. Це, в свою чергу, робить моделі цінними при їх практичному застосуванні, а саме вдосконаленні системи ведення моніторингових досліджень, управлінні продуктивністю осушуваних земель, оцінці стану сільськогосподарських та прилеглих до них угідь тощо.



## 2. ПРИРОДНІ ВЛАСТИВОСТІ ОБ'ЄКТІВ МОНІТОРИНГУ ТА ПОПЕРЕДНІЙ АНАЛІЗ ДАНИХ

### 2.1. Характеристика природнокліматичних умов регіону

У якості «полігона» для розробки та випробовування методів та методики відтворення даних моніторингу осушуваних земель було обрано Рівненську область України. Вибір цей було зроблено не лише з міркувань доступності даних, але у першу чергу через типовість природних умов Рівненщини стосовно характеристик та природних властивостей меліорованих земель. Характерним є факт, що територія Рівненської області, простягаючись у меридіональному напрямку, охоплює основні типи гумідних ландшафтів, а отже може представляти ґрунти з відповідними режимами та ґрунтоутворними породами, мікро- та мезоклімат, характерні напрями використання та впорядкування земель тощо не лише для умов гумідної зони України, а й більшої частини північно-східної Європи. Крім того, Рівненська область за географічним розташуванням знаходиться у межах двох основних ландшафтних зон - Полісся та Лісостепу і повністю їх репрезентує з точки зору властивостей осушуваних земель.

Сучасна система меліорованих земель передбачає використання поняття «типова меліоративна система», яке означає деяку територію з відповідними природно-техногенними умовами та угіддями, на якій здійснюється водорегулювання і яка виконує роль моніторингового полігона, вибір якого було обгру-



нтовано при проектуванні моніторингової мережі. у даній роботі використано дані, отримані на моніторингових полігонах і стаціонарах осушувальних систем «Воробино» (Полісся, північ), «Язвинка» (Полісся, центр), «Деражне-Постійне» (Полісся, захід), «Головниця» (лісосотеп, схід), «Стубелка» (Лісостеп, центр), «Іква» (Лісостеп, південь).

Для характеристики кліматичних умов осушувальних систем (ОС) «Воробино», «Язвинка», «Деражне-Постійне», що знаходяться в поліській природній зоні, були використані спостереження найближчої метеорологічної станції, розташованої в м. Сарни. Природні умови тут характеризуються вологим, відносно м'яким та помірно-континентальним кліматом. Середня багаторічна температура повітря становить близько 7°C. Перехід середньодобової температури повітря через 0°C навесні спостерігається в другій декаді березня, а восени – в середині третьої декади листопада (табл. 2.1). Тривалість теплового періоду з середньодобовою температурою вище 0°C становить 253 доби. Перехід середньодобових температур повітря через 5°C, що вважають початком та кінцем вегетаційного періоду, настає навесні на початку квітня, восени – в кінці жовтня. Середня тривалість вегетаційного періоду – 203 доби.

Розподіл опадів за роками та за сезонами нерівномірний (табл. 2.2). Середньорічна кількість опадів 590 мм. За вегетаційний період випадає в середньому 415 мм. Коефіцієнт зволоження дорівнює 1,1. Імовірність надмірно вологих років становить 30-45 %, напівпосушливих і посушливих – 10-12 %.

Перші морози на території поліської зони спостерігаються на початку жовтня, останні – на початку травня. Тривалість безморозного періоду – 163 доби. Стійке промерзання ґрунту настає у першій або на початку другої декади грудня. Стійке снігове покриття утворюється на початку січня. Середнє число днів з сніговим покриттям становить 76. Сходження снігового покриву відбувається від середини лютого до кінця березня. Середні запаси вологи в снігу на момент сніготанення складають близько 40 мм. Абсолютна середньодобова



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

Таблиця 2.1

Середньомісячні температури повітря за даними м/с Сарни

Роки	Місяці												Середня річна температура
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
1986-1987	3,2	3,6	-14,3	-3,2	-5,7	4	12,5	16,6	19	15	12,8	7	5,88
1987-1988	2,9	-2,1	-1,9	-1,8	0,5	7	14,8	16	19,9	17,4	13,2	6,4	7,69
1988-1989	-2,1	-2	0,3	2,3	4,7	7,7	14,3	16,3	17,9	17,6	14	8,7	8,31
1989-1990	0,3	0	0	3,3	5,3	8,7	13,3	16,7	16,7	17,3	11,3	8,3	8,43
1990-1991	4,7	-1,3	-1,3	-5,3	2,3	7,7	11,3	17	19	18	13,7	7,7	7,79
1991-1992	3,3	-3,3	-2,3	-2	2,7	7	12,6	17,6	19	20,1	12	6,3	7,75
1992-1993	2,3	-2	-1,6	-3	-0,6	8	16	15,3	16,3	16,2	11,4	8,4	7,23
1993-1994	4,3	0,7	1	-3,7	3	9,7	13	15,3	20,3	18,7	16,3	6,7	8,78
1994-1995	1,6	-1,7	-3,7	1,9	2,5	8	13,3	18,3	20,3	18,7	13,3	9	8,46
1995-1996	-0,7	-6,3	-9,6	7,3	-3,3	8,3	17,7	17,3	17,3	18	10,7	8,3	7,08
1996-1997	5,5	-5	-6	0,4	1,8	4,7	14,3	17,3	18	18,3	12	6,3	7,30
1997-1998	2,8	-3,9	-0,3	2	0,7	10	14,3	19	18,3	16,7	13,3	7	9,99
1998-1999	-3,1	-4,9	-1,7	-2	3,6	11	12,3	21	21	17,7	15	8	9,79
Норма	1,9	-2,8	-5,2	-4,2	0	7,1	13,9	17,2	18,8	17,5	13,1	7,2	7,04



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

Таблиця 2.2

Середньомісячна кількість опадів (мм) за даними м/с Сарни

Роки	Місяці												Сумарна річна
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
1986-1987	23	17	41	15	30	34	58	56	31	61	45	38	449
1987-1988	31	42	26	11	39	18	40	211	80	54	40	15	607
1988-1989	37	33	17	22	15	34	75	157	33	96	59	51	629
1989-1990	48	23	12	24	19	35	36	63	114	14	69	25	482
1990-1991	35	37	15	24	2	27	69	62	151	59	98	32	611
1991-1992	22	27	19	23	15	15	72	91	61	22	106	63	536
1992-1993	65	17	30	24	18	27	52	90	189	31	48	28	619
1993-1994	20	32	19	17	48	21	71	52	23	66	62	44	475
1994-1995	31	58	26	39	18	48	35	39	33	85	81	80	573
1995-1996	32	23	34	23	34	36	111	25	95	90	60	25	588
1996-1997	34	44	6	18	30	42	47	56	105	29	39	81	531
1997-1998	67	63	20	20	44	58	41	89	193	26	91	41	753
1998-1999	40	35	13	57	42	56	32	101	250	41	92	12	771
Норма	47	38	30	30	30	41	53	64	85	75	56	41	590



вологість повітря дорівнює 8,7 мб, відносна вологість – 77 %, дефіцит вологості – 3,7 мб.

Клімат лісостепової частини Рівненської області, де розташовані осушувальні системи «Іква», «Стубелка», «Головниця» помірно-континентальний. Тут спостерігається м'яка зима, прохолодне літо, значна кількість опадів. Метеорологічні умови Лісостепової частини характеризуємо за даними метеостанції, розташованої у м. Дубно.

Температурний режим повітря обумовлений географічною широтою, а також впливом повітряних мас, які проникають з Атлантичного океану, знижуючи температуру літа, і Азіатського континенту, підвищуючи температуру взимку. Температура повітря має суттєвий вплив на процеси енергообміну і вологообміну у ґрунті. Середньорічна температура за період 1984-1999 рр. (табл. 2.3) змінювалася від 5,62°C до 8,8°C при нормі 7,3°C. Перехід температури через 0°C в середньому спостерігається з 20 березня по 10 квітня і восени з 10 жовтня по 30 жовтня. Навесні в квітні та травні спостерігаються заморозки, що негативно впливає на ріст та розвиток сільськогосподарських культур. Взимку спостерігаються відлиги при температурі повітря плюс 7°C. З температурним режимом тісно пов'язані терміни та глибина промерзання ґрунту, тому слід відмітити, що стійке промерзання ґрунту відбувається в першій та на початку другої декади грудня, в окремі роки – в першій декаді січня. Розподіл опадів за роками і порами року нерівномірний (табл. 2.4). Середньорічна кількість опадів за досліджуваний період коливалася від 471 до 937 мм. Протягом року найбільша кількість опадів припадає на теплий період року (квітень-жовтень) і за досліджуваний період становила від 296 мм до 425 мм. У багатоводні роки (1986-1993, 1997-1998) надмірна кількість опадів призводить до підвищення рівня ґрунтових вод і, як наслідок, до перезволоження ґрунту. В холодні періоди (листопад-березень) сумарна кількість опадів коливається в межах 118-231 мм при середній багаторічній нормі цього періоду 132 мм. На відміну від теплового періоду, опади холодного періоду витрачаються на інфільтрацію і тільки незначна

Таблиця 2.3

Середньомісячна температура повітря, °С (м/с Дубно)

Роки	Місяці												Середня річна
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
1984-1985	1,8	-2,3	-14,7	-12,1	-0,3	8,8	15,9	15,4	17	19,2	12	7,5	5,68
1985-1986	0	1,1	-2,3	-8,7	1	10,2	15	17,1	17,8	18,7	11,7	7,2	7,40
1986-1987	3,6	-2,9	-13,5	-2,6	-5,1	4,6	12,5	17,2	19,2	14,8	13	7,8	5,72
1987-1988	3,7	-1,7	-1,3	-0,9	0,9	7	15	16,5	19,9	17,7	13,9	6,8	8,13
1988-1989	-2,1	-1,3	1	3,7	5	7,7	14,3	16,3	17,9	17,7	14	9,6	8,65
1989-1990	1	0,7	0,7	4	5,7	9,3	13,3	16,7	16,7	17,3	11,3	9,3	8,83
1990-1991	5,3	-0,7	-1	-4,3	2,6	7,7	12	17	19,3	17	13,7	8,3	8,08
1991-1992	4	-3	-2	-1,3	3,6	7,6	13	18,3	19	21,3	12	7	8,29
1992-1993	3,3	-1,6	-0,7	-2,7	0	8	16,3	15,7	16,7	16,3	12	8,9	7,68
1993-1994	-3,1	1,7	2	-2,7	3,7	10,3	13,3	16,3	20,3	19	16,7	7	8,71
1994-1995	2,4	-0,7	-2,6	3	3,1	8	13	18,3	20	18,3	13,3	9,3	8,78
1995-1996	-0,9	-5,4	-8,6	-7,3	-3,4	8	17,7	17,3	17,3	18	10,7	8,7	6,01
1996-1997	6,3	-4	-5,7	0,7	2,1	4,7	14,7	17,3	18,3	17,7	12	6	7,51
1997-1998	2,8	-2,6	0	2,3	0,7	10,7	14	18,7	18	17	13,3	7,7	8,55
Норма	2,4	-2	-4,8	-3,7	0,5	7,4	13,8	16,9	18,6	17,5	13,3	7,7	7,30





Середньомісячна кількість опадів, мм (м/с Дубно)

Роки	Місяці												Сумарна річна
	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
1984-1985	16	26	21	33	23	51	43	114	70	52	49	35	533
1985-1986	60	58	34	27	12	43	33	63	110	120	29	8	597
1986-1987	27	29	50	20	41	48	60	76	114	60	50	34	609
1987-1988	29	42	33	14	42	12	45	151	123	54	45	17	607
1988-1989	47	43	19	25	16	57	134	165	37	94	45	42	724
1989-1990	50	32	10	32	29	52	32	94	101	25	63	30	550
1990-1991	51	30	21	34	1	23	83	11	238	62	77	61	692
1991-1992	31	42	28	32	27	21	57	29	47	34	137	76	561
1992-1993	81	17	38	35	27	25	29	140	206	39	50	28	715
1993-1994	20	39	30	17	46	16	63	36	21	80	69	43	480
1994-1995	41	67	22	45	46	54	70	73	18	62	86	8	592
1995-1996	46	27	37	37	28	24	50	37	47	22	88	28	471
1996-1997	17	40	15	25	21	59	70	63	162	67	59	59	657
1997-1998	59	73	26	32	41	79	32	170	203	48	89	85	937
Норма	33	27	23	23	26	33	55	70	74	72	42	36	514



Їх частина витрачається на випаровування та поверхневий стік. Сніговий покрив у даному регіоні встановлюється у грудні місяці.

Аналіз метеорологічних спостережень за температурою повітря та кількістю атмосферних опадів показує, що саме зазначені умови є домінуючими при формуванні сезонного та багаторічного водного режиму. Протягом багаторічного періоду найбільш посушливими були 1987, 1990, 1994 роки для поліської зони 1994 та 1996 роки для лісостепової частини області.

Положення рівнів ґрунтових вод (РГВ) залежить від гідрогеологічних умов ділянок, мікрорельєфу та від кліматичних факторів [13,19,27,42,63,74,88,107]. Максимальна амплітуда підйому РГВ спостерігається влітку після значних опадів. Велика різниця амплітуд коливань РГВ спостерігається внаслідок різних гідрогеологічних і гідрологічних умов окремих ділянок та внаслідок антропогенних факторів (наявність дренажу, запірних споруд на каналах та ін.) [14,25,32,45,66,221,229]. Рівні води в каналах залежать від положення затворів гідротехнічних споруд на цих каналах, а також кількості та інтенсивності опадів [100,110,111,117,160,207,268].

Рівні ґрунтових та підземних вод в умовах експлуатації осушуваних систем, за даними Рівненської гідрогеолого-меліоративної експедиції, мають незначну амплітуду коливань. Це чітко видно на графіках (рис. 2.1-2.3) динаміки рівнів ґрунтових вод, де в залежності від водності років річні рівні мають незначні відхилення від середнього багаторічного і не перевищують 0,2 м. Лише для окремих років 1990-1991 рр. спостережень амплітуда коливань для місяців IV-VI перевищує 0,2 м, що, в свою чергу, пов'язано з режимом опадів (табл.2.4). Режим рівня ґрунтових вод підпорядкований загальній сезонній закономірності – весняний максимум рівнів змінюється літньою меженню, після чого відбувається осінній підйом рівнів, що змінюється спадом та встановленням зимового мінімального РГВ. Весняне підняття РГВ повільне і розтягнуте в часі. Триває воно від 31 до 186 діб для Лісостепової зони з амплітудами коливань 0,07-0,28 м (ОС «Іква»), 0,1-0,33 м (ОС «Стубелка») та від 61 до 156 діб для зони Полісся з амплітудами коливань 0,07-0,72 м (ОС «Воробино»), 0,07-0,99 м (ОС «Деражне-Постійне»). Весняні максимуми, як правило, відповіда-



ють максимальним річним відміткам рівнів. Характер і тривалість весняного підйому залежить від метеорологічних факторів (запаси вологи в ґрунті, зимові запаси снігу, інтенсивність його танення, глибина промерзання ґрунту). Літній спад рівнів ґрунтових вод на різних ділянках осушуваних масивів відбувається нерівномірно і також залежить від кліматичних факторів, типу водного живлення і літологічного складу водовмісних порід і водно-фізичних характеристик зони аерації.

Протягом літньо-осіннього мінімуму спостерігаються незначні підняття РГВ за рахунок інтенсивних атмосферних опадів. Літньо-осінній мінімуму триває від 36 до 123 діб для осушуваних систем Лісостепу, та в середньому 70 діб для Поліської зони. Максимальне зниження рівнів ґрунтових вод становить у різних свердловинах від 0,20 м до 1,15 м (ОС «Іква»), 0,06 м до 0,49 м (ОС «Стубелка»), 0,58-2,00 м (ОС «Воробино»), 0,65-2,61 м (ОС «Деражне-Постійне»). Найінтенсивніший спад рівнів ґрунтових вод відбувається в червні–вересні, а в окремі маловодні роки – з травня місяця. В період інтенсивного випадання опадів літній спад переривається короткочасними підйомами РГВ, які викликані інфільтрацією атмосферних опадів.

Осінньо-зимові підйоми рівнів ґрунтових вод наступають в вересні–листопаді, а в окремі роки і в грудні. Тривалість підйому змінюється від 52 до 128 діб при абсолютній величині підняття 0,06-0,42 м (ОС «Іква»), 0,00-0,80 м (ОС «Стубелка»), 0,05-0,67 м (ОС «Воробино»), 0,09-1,26 м (ОС «Деражне-Постійне»). Осінній підйом рівнів ґрунтових вод починається на всій території синхронно і закінчується, як правило, з переходом плюсових температур повітря через 0°C [32,65,66,70,90].

Основним джерелом живлення ґрунтових вод, як раніше зазначалося, є інфільтрація атмосферних опадів. За даними гідрогеолого-меліоративної служби вона становить в середньому 56 % опадів або 298 мм. Інфільтрація збільшується у весняний та літній періоди, коли відбувається підйом рівнів ґрунтових вод на 0,06-0,11 м. Зниження рівнів ґрунтових вод у літньо-осінній період відбувається за рахунок переважання випаровування над інфільтрацією [13,25,26,72].

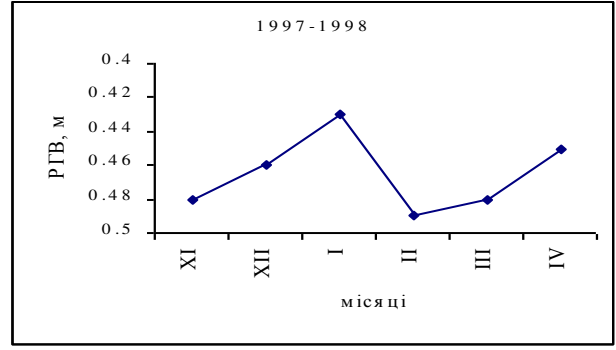
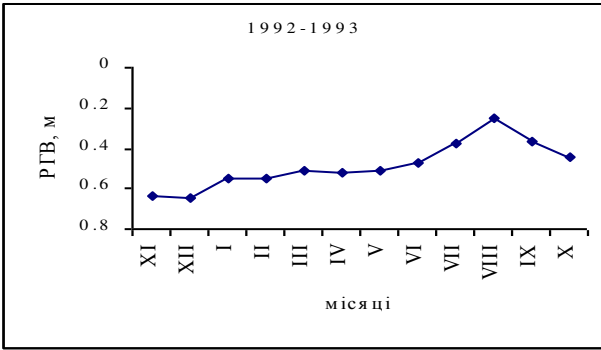
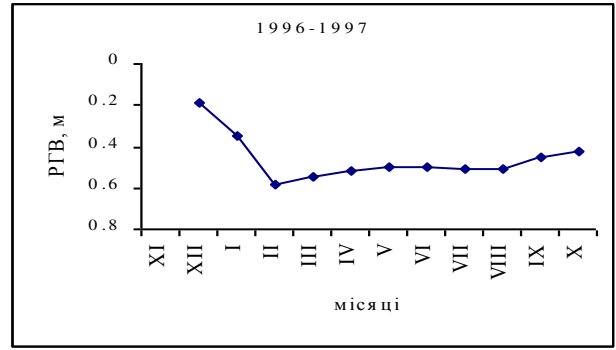
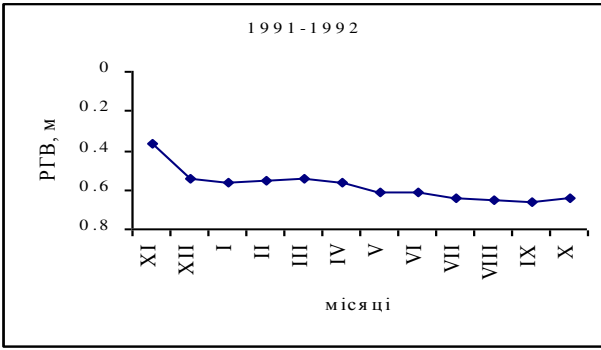
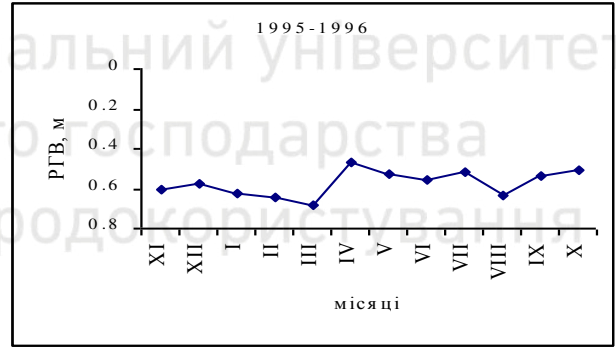
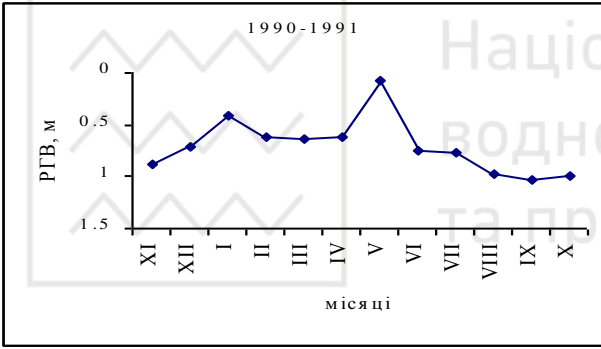
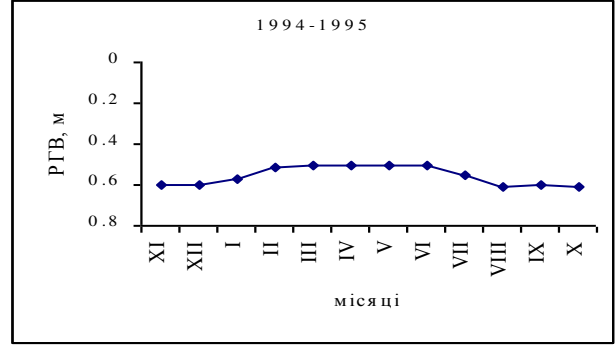
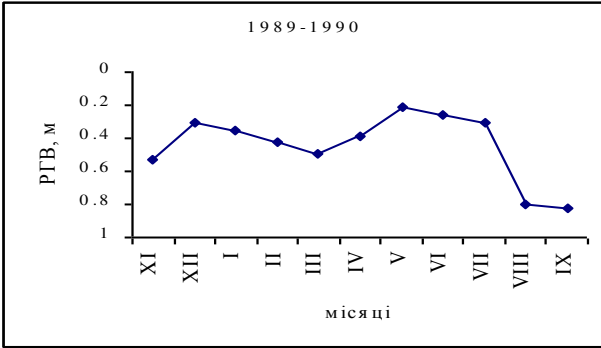
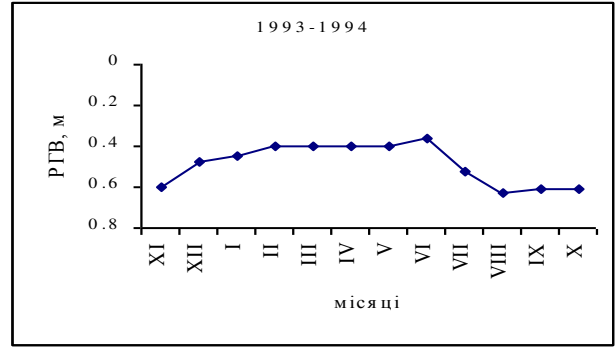
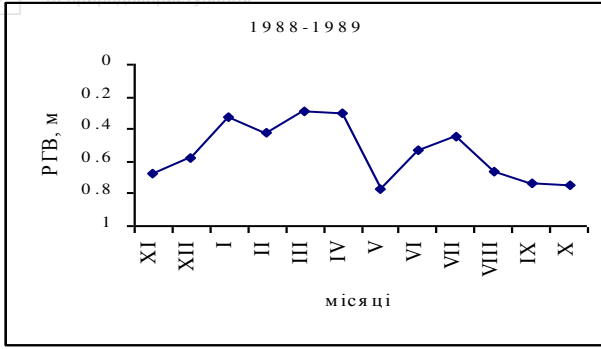


Рис. 2.1. Динаміка РГВ (м) у торфово-болотних ґрунтах за ст. 12 ОС «Іква»

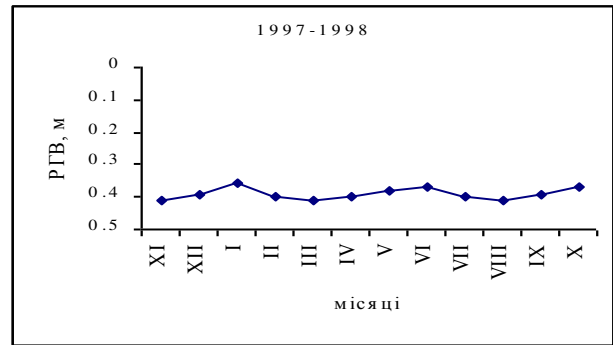
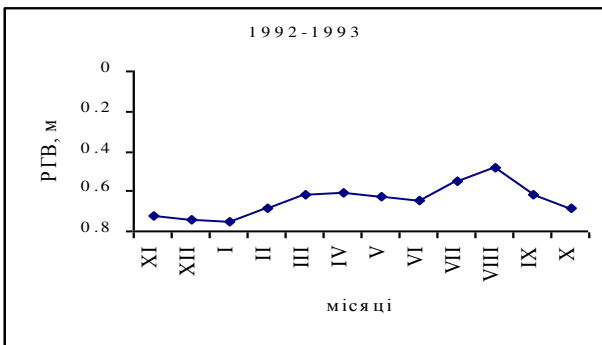
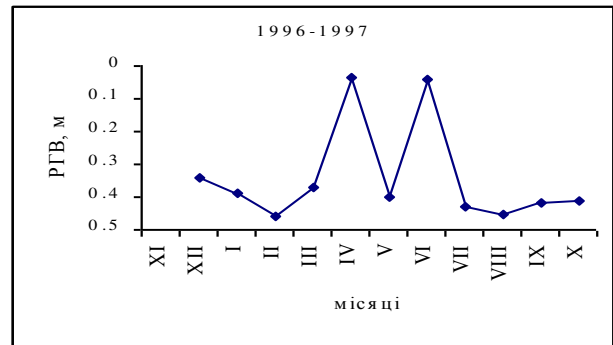
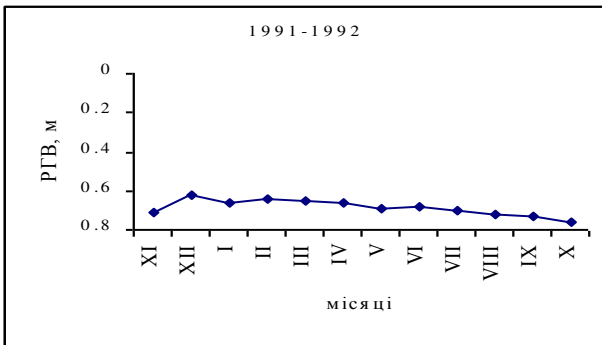
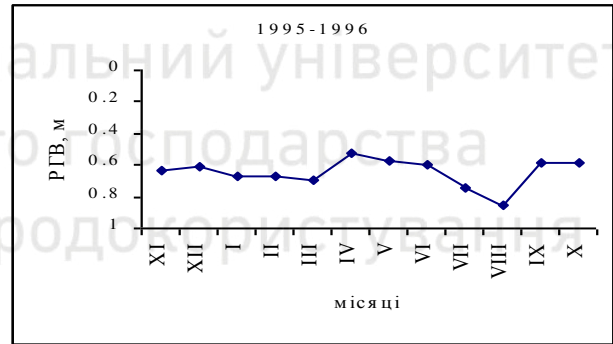
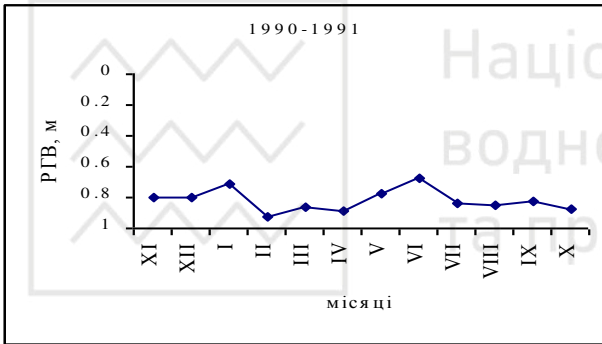
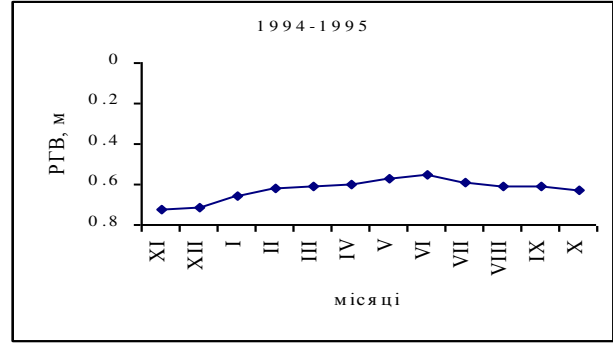
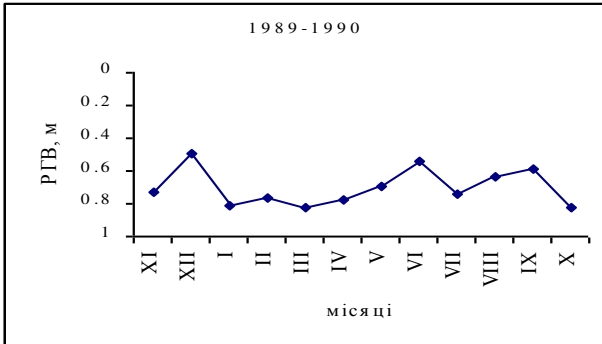
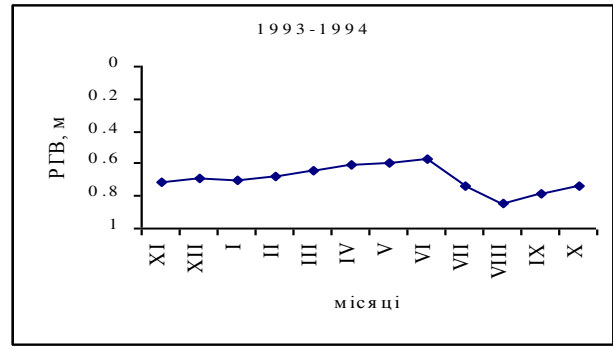
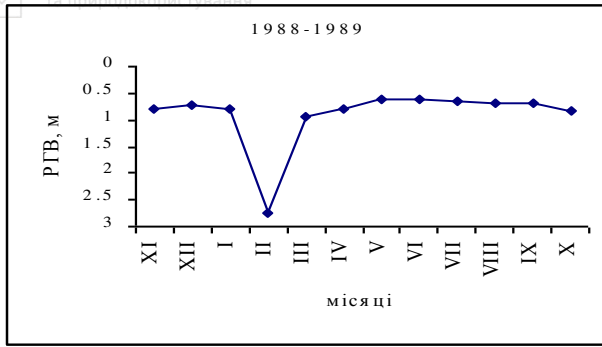


Рис. 2.2. Динаміка РГВ (м) у сірих лісових ґрунтах за даними ст.18 ОС «Іква»

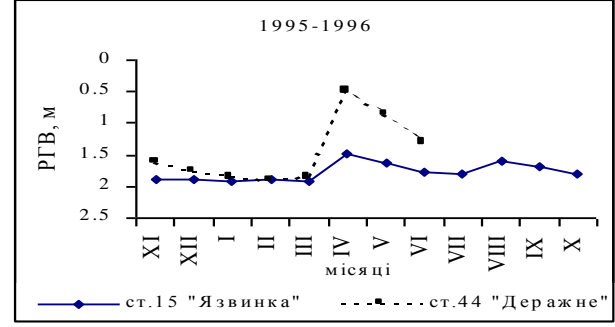
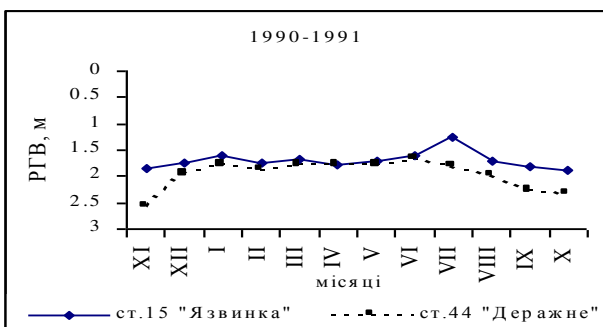
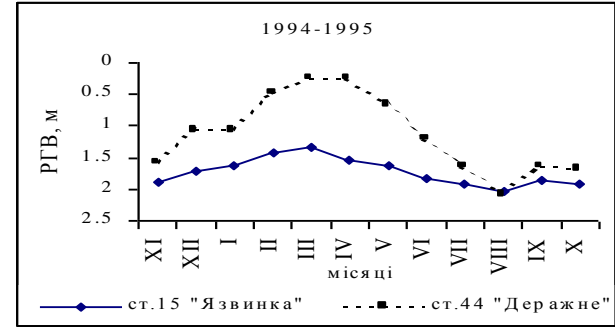
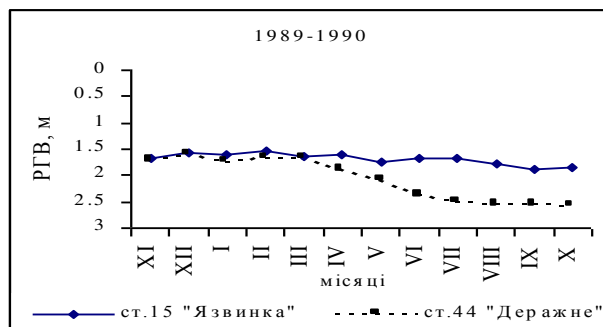
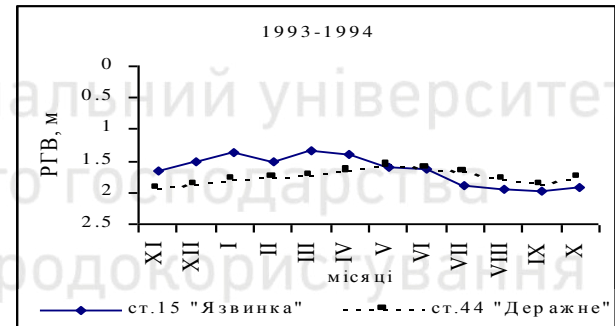
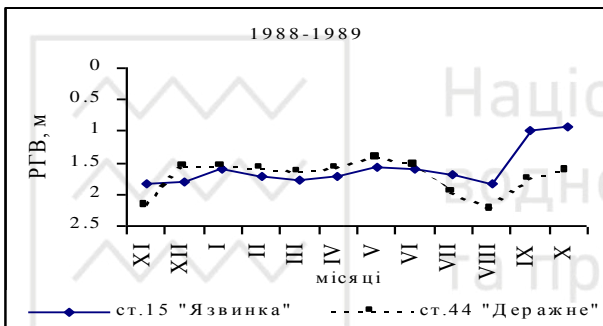
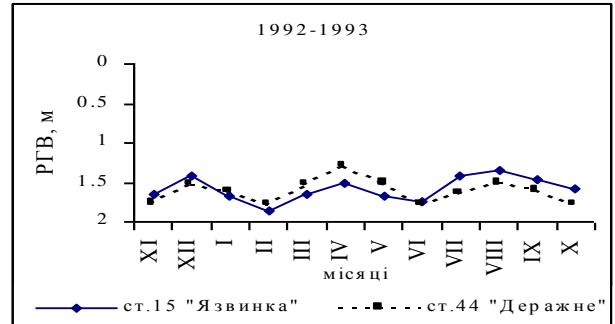
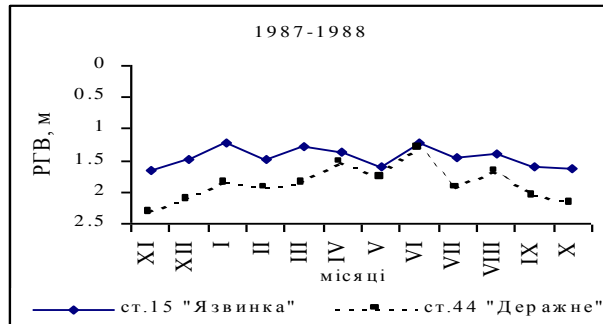
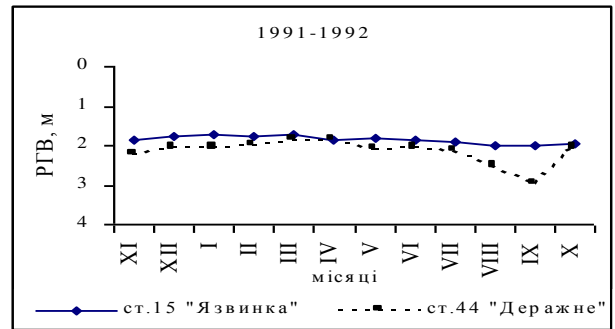
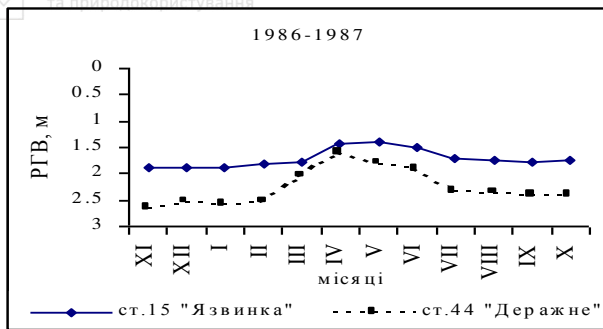


Рис. 2.3. Динаміка РГВ (м) у дерново-підзолистих піщаних ґрунтах за ст. 15 ОС «Язвинка» та ст.44 ОС «Деражне-Постійне».



Амплітуда коливань випаровування за період спостережень змінювалася від 25,9 мм до 255,7 мм. В часі за багаторічний період спостережень характер коливань рівнів ґрунтових вод зберігається. З аналізу меліоративної обстановки за 1987-2001 років випливає, що на середину вегетаційного періоду на ОС «Ік-ва» та ОС «Стубелка» глибина рівнів залягання ґрунтових вод не перевищувала 0,8 м, на ОС «Деражне-Постійне», ОС «Язвинка» та ОС «Воробино» глибина залягання РГВ перевищувала 1,25 м, досягаючи 2 м і більше. Рівень ґрунтових вод є мінливим в часі та просторі, що пояснюється неоднорідністю кліматичних умов та дренажним впливом з боку осушувальної мережі. Значні відхилення рівнів ґрунтових вод від оптимальних значень свідчать про необхідність підвищення ефективності регулювання водно-повітряного режиму меліорованих ґрунтів [221-224,234, 252-254,262-264].

Протягом останніх років глобальні зміни клімату не оминули гумідної зони. Можна констатувати, що загальноукраїнська тенденція підвищення температури повітря (в Україні середня температура за останні десять років підвищилася на 0,3-0,6°C, тоді як за останні сто років - на 0,7°C) зберігається і у гумідній зоні. Регресійний та кореляційний аналіз метеорологічних і гідрологічних даних за період з 1984 по 2008 роки не підтвердив наявності статистично обґрунтованих трендів за жодним показником. Якщо говорити про комплекс кліматичних, ґрунтових, гідрологічних та інших показників та їх впливу на ґрунтово-земельні ресурси, то нині очевидно, що потрібно продовжити їх контроль як у рамках метеорологічних спостережень, так і у рамках природного моніторингу.

Аналіз особливостей коливання кліматичних факторів та водного режиму ґрунтів засвідчує близькість характеру динаміки показників на різних об'єктах моніторингу як у окремі роки, так і за багаторіччя, що дає змогу підтвердити, поки-що на якісному рівні, прийняту робочу гіпотезу і дозволяє перейти до кількісного опису ґрунтово-кліматичних закономірностей.



## 2.2. Характеристика об'єктів моніторингу

На території Рівненської області площа осушуваних земель сягає 374 тис. га [136,236]. У процесі розробки статистичних методів відтворення даних моніторингу було використано дані власних досліджень та дані моніторингу типових об'єктів, яким є осушувальні системи «Воробино», «Язвинка», «Деражне-Постійне», «Головниця», «Стубелка», «Іква», що розташовані на території Рівненської області, сумарна площа яких дорівнює 26,24 тис. га, що становить близько 9 % від загальної площі осушуваних земель Рівненщини. Кожна типова осушувальна система характеризується мережею спостережних свердловин та мережею ґрунтових стаціонарів. Ґрунтові стаціонари розташовані на найбільш типових ґрунтах контрольованої території, типів яких на кожній осушувальній системі є від двох до чотирьох в залежності від площі та літолого-геоморфологічних особливостей території. На вибраних ґрунтових стаціонарах проводяться спостереження за агрохімічними та агрофізичними показниками ґрунтів, за водним режимом осушуваних земель, а також за їх часовою динамікою [7,8,11,12,19,77,98,100,119,120,129, 130,136,153, 165].

Загальна характеристика типових осушувальних систем області на основі паспортних даних і даних ґрунтових досліджень наведена у табл. 2.5.

**Осушувальна система “Воробино”** розташована на території Дубровицького району. Водоприймачем системи є магістральний канал (МК) – р. Воробівка. Осушення проводиться відкритою мережею каналів у поєднанні із закритим дренажем (переважно гончарним). Рельєф поверхні системи спокійний з наявністю безстічних замкнених западин. Загальний ухил місцевості – на схід. У геоструктурному і геоморфологічному відношенні осушений масив відноситься до Волинського моренного пасма. Геологічна будова представлена четвертинною товщею потужністю 1,9–8,6 м. Відклади представлені пісками з прошарками супісків, суглинків і глин, мулу, торфу. Понижзя представлені сучасними відкладами торфу і мулу потужністю до 0,7-0,9 м. Для водоносного комплексу четвертинних відкладів характерна гідравлічна взаємопов'язаність. Тип водного



живлення атмосферно-грунтово-схиловий. Причиною перезволоження земель є близьке залягання водотриву, розвантаження ґрунтового потоку на схилах (тимчасове) і в пониженнях (постійне), незадовільні фільтраційні властивості поверхневих відкладів.

Таблиця 2.5

Характеристика типових осушувальних систем Рівненської області [139]

Назва осушувальної системи	Площа нетто, га	Площа с/г угідь, га	Площа гончарного дренажу, га	Структура ґрунтового покриву
Воробино	2505	2184	2425	Дерново-підзолисті, торфові глеюваті
Головниця	3978	3917	3729	Світло-сірі, чорноземи опідзолені, лучно-болотні
Деражне-Постійне	4564	3569	3365	Дерново-підзолисті, торфові, торфово-глеєві
Іква	9003	5125	5136	Торфово-болотні, лучно-болотні
Стубелка	3823	2234	3141	Болотні, мулуваті-торфові заплавні
Язвинка	3220	2204	2508	Дерново-підзолисті, торфово-глеєві, торфові

Для спостереження за технічним станом осушувальної мережі, а також за режимом, балансом і хімічним складом підземних вод на осушеному масиві «Воробино» Рівненською гідрогеолого-меліоративною експедицією була закладена мережа спостережень, що складається з 13 свердловин, ведуться регулярні спостереження на двох ґрунтових стаціонарах. Осушені сільськогосподарські угіддя використовуються під посіви багаторічних і однорічних трав, зернових, кормових і овочевих культур.

**Осушувальна система «Язвинка»** розташована в центральній частині Рівненської області на території Березнівського і Сарненського районів. Водоприймачем осушеного масиву є р. Язвинка – ліва притока річки Случ, русло якої відрегульоване. Осушування проводиться відкритою мережею каналів в поєднанні з гончарним дренажем. За фізико-географічним районуванням осушений масив відноситься до північної частини Костопільської денудаційної рі-



внини. В геоструктурному відношенні він є ділянкою північної частини Волино-Подільської плити і складений крейдяними, палеогеновими і четвертинними осадовими утвореннями. Верхньокрейдяні відклади представлені крейдяно-мергельною товщею туронського ярусу. Ці відклади залягають на глибині 12-17 м товщею 28-30 м. Палеогенові відклади представлені мергелем, алевритами, глинами і пісками. Потужність палеогенових утворень коливається від 10 до 14 м. Четвертинні відклади представлені переважно алювіальними пісками, а також алювіально-болотними відкладами. Сучасні алювіально-болотні відклади займають знижені ділянки заплави. Торфовища малопотужні і середньопотужні низинного типу, сильно розкладені, осокові і мохово-осокові (ступінь розкладу 62–73 %). Потужність болотних відкладів 0,5 – 3,1 м. Сучасні алювіальні відклади представлені пісками малої і середньої потужності від 1 до 6 м. В гідрологічному відношенні ділянка належить до північної частини Волино-Подільського артезіанського басейну. В зоні інтенсивного водообміну розвинені водоносні горизонти у верхньокрейдяних, палеогенових і четвертинних відкладах. Живлення четвертинного водоносного горизонту проходить переважно за рахунок інфільтрації атмосферних опадів і за рахунок перетоку верхньокрейдяних вод.

Мережа спостережних свердловин на системі складається з 8 поперечників з 40 свердловинами на четвертинний водоносний горизонт і 3 свердловинами на крейдяний водоносний горизонт. На системі ведуться систематичні гідрорегимні, балансові, гідрометричні, гідрохімічні спостереження, ґрунтові і агрохімічні дослідження (на чотирьох ґрунтових стаціонарах), спостереження за технічним станом осушувальної мережі, проводиться оцінка меліоративного стану земель з метою ведення меліоративного кадастру. Осушені землі використовуються під посіви багаторічних і однорічних трав, зернових, овочевих і кормових культур.

*Осушувальна система “Деражне–Постійне”* розташована на території Костопільського району в межах Костопільської денудаційної рівнини на першій надзаплавній терасі р. Горинь. Осушення проводиться відкритою мережею



каналів у сполученні з гончарним дренажем. В геологічній будові масиву беруть участь верхньочетвертинні алювіальні піски, супіски, що підстилаються верхньокрейдяними відкладами. На денну поверхню виходять дрібнозернисті піски (потужністю 3 і більше метри) сірі і жовтувато-сірі. Зустрічаються супіски сірі і брудно-сірі. Загальна потужність алювіальних відкладів становить 15 м. За гідрологічним районуванням ділянка відноситься до Волино-Подільського артезіанського басейну. Наявні два водоносні горизонти – четвертинний і крейдяний. Крейдяний водоносний горизонт напірний. Водотривом четвертинного водоносного горизонту є зона кольматації у покрівлі крейди, що залягає на глибині 20 – 30 м. Гідравлічний зв'язок між четвертинним і крейдяним водоносним горизонтом не виявлений. Тип водного живлення земель атмосферно-грунтовий. Осушені сільськогосподарські угіддя використовуються під посіви багаторічних і однорічних трав, зернових і кормових культур.

**Осушувальна система “Стубелка”** розташована на території Дубенського, Млинівського і Рівненського районів в межах Луцько-Рівненської височини в заплаві річки Стубелка. Осушення проводиться відкритою мережею каналів в поєднанні з гончарним дренажем. Довжина відкритої мережі каналів становить 261,3 км, закритої мережі - 1898,9 км. Технічна характеристика системи дозволяє проводити двостороннє регулювання водного режиму на 80 % осушеного масиву, проте проведення зволоження значно ускладнює відсутність гарантованих джерел води. В геологічній будові долини річки Стубелка беруть участь відклади верхньої крейди, представлені сенон-туронськими крейдо-мергелями. Покрив крейдяних відкладів є водотривом на даній системі. Води верхньокрейдяного горизонту напірні і пов'язані з четвертинним водоносним горизонтом. Четвертинний комплекс порід представлений алювіальними і болотними відкладами. Алювіальні відклади заплави - це переважно піски і супіски потужністю від 13 до 25 м. Болотні відклади представлені торфами очеретово-осоковими добре і сильно розкладеними. Потужність болотних відкладів від 0,2 до 8,0 м. Рельєф поверхні осушеного масиву рівнинний. Меліоративні умови на системі формують водоносні горизонти в болотних, сучасних алювіаль-



них і крейдяних відкладах.

Для спостереження за режимом, балансом і хімічним складом підземних вод Рівненською гідролого-меліоративною експедицією влаштована мережа спостережень, що включає 37 свердловин. На системі проводиться систематичні гідрорежимні, балансові, гідрометричні, ґрунтові (на чотирьох ґрунтових стаціонарах), гідрохімічні спостереження, спостереження за технічним станом осушувальної системи. Проводиться оцінка меліоративного стану земель для потреб меліоративного кадастру. Осушені сільськогосподарські угіддя використовуються під посіви багаторічних і однорічних трав, зернових і кормових культур.

**Осушувальна система “Головниця”** розташована на території Корецького району в межах Новоград-Волинської денудаційної рівнини на межі з підобластю Волинської височини. Осушення проводиться переважно гончарним дренажем. Окремі невеликі ділянки осушуються відкритою мережею каналів. Рельєф осушеного масиву рівнинний з чисельними замкнутими зниженнями. В межах масиву осушення розвинені нижньопротерозойські, неогенові і четвертинні відклади. Нижньопротерозойські відклади представлені гранітами. Глибина залягання покрівлі 39-44 м. Нижньонеогенові відклади сарматського ярусу представлені глинами сірими щільними. Потужність неогенових відкладів 18-20 м. Покрив нижньонеогенових відкладів є локальним водотривом для даної місцевості. Четвертинні відклади представлені суглинками еолово-делювіальними. Потужність четвертинних відкладів від 3,2 до 8,0 м. Сучасні алювіально-болотні відклади розташовані фрагментарно вузькою смугою вздовж dna річкової долини і представлені мулом і добре розкладеним торфом. Їхня потужність сягає 1,7-4,5 м. В межах осушувальної системи розвинені два водоносних горизонти – четвертинний і нижньопротерозойський (в шпаруватій товщі гранітів). Нижньопротерозойський водоносний горизонт напірний. Води гідрокарбонатно-кальцієві. Потужність четвертинного водоносного горизонту 3,1-5,1 м., води гідрокарбонатно-кальцієві.

Для вивчення водно-повітряного режиму осушених земель і ефективності



їх використання Рівненської гідрогеолого–меліоративною експедицією обладнано два типові поперечники з балансовими ділянками, пункти і стаціонари для відбору зразків води і ґрунту. За період спостереження зібрані дані гідрорежимних, балансових, гідрометричних, гідрохімічних спостережень, ґрунтових і агрохімічних досліджень (на чотирьох ґрунтових стаціонарах). Проводились спостереження за технічним станом осушувальної мережі, проводилась оцінка меліоративного стану земель з метою ведення меліоративного кадастру. Осушені сільськогосподарські угіддя використовуються під посіви багаторічних і однорічних трав, зернових і кормових культур.

**Осушувальна система “Іква”** розташована в межах Дубенського району Рівненської області (на межі Рівненської і Тернопільської областей) в заплаві річки Іква. Осушення проводиться відкритою мережею каналів в поєднанні з гончарним дренажем. Проведення зволоження ускладнено недостатньою водністю річки Іква і відсутністю водосховищ. На системі побудовано п'ять польдерних ділянок. В геологічній будові верхньої товщі території долини річки Іква беруть участь четвертинні і верхньокрейдяні відклади. Відклади верхньої крейди знаходяться на глибині 9-13 м і представлені мергельно-крейдяною товщею. Четвертинний комплекс порід представлений флювіогляціальними, алювіальними і сучасними болотними відкладами. Флювіогляціальні відклади залягають в основі четвертинної товщі в південній частині масиву і представлені дрібнозернистими кварцевими пісками. Еолово-делювіальні утворення залягають на бортах річки Іква і представлені лесоподібними супісками і суглинками, потужність яких становить 10-15 м. Алювіальні відклади заплави представлені переважно дрібнозернистим піском потужністю до 19 м. Болотні відклади представлені торфом темно-коричневим, осоковим, карбонатним, різного ступеню розкладу. Потужність торфу варіює від 2 до 3 м, а інколи досягає 6,4 м. В гідрологічному відношенні осушений масив розташований в межах Волино-Подільського артезіанського басейну. Водонасні горизонти розташовані в четвертинних і верхньокрейдяних відкладах. Четвертинний водонасний горизонт являє собою єдиний водонасний комплекс потужністю 17-19 м. Верхньокрей-



дяний водоносний горизонт розташований в мергельно-крейдянній товщі.

Для проведення гідрорежимних, балансових, гідрометричних, гідрохімічних, ґрунтових досліджень, спостережень за технічним станом осушувальної мережі Рівненською гідрогеолого-меліоративною експедицією на системі закладено 11 гідрорежимних поперечників, з яких два є моніторинговими. Осушені землі використовуються під посіви багаторічних і однорічних трав, зернових, овочевих і кормових культур. Частина угідь використовується під природні пасовища.

### **2.3. Особливості динаміки властивостей ґрунтового покриву досліджуваних територій**

ґрунтовий покрив меліорованих земель є визначальним при проведенні спостережень, контролю та оцінки їхнього еколого-меліоративного стану. Він характеризується значною строкатістю, що обумовлено особливостями клімату поліської та лісостепової частин Рівненської області, добре розвиненим мезо- та мікрорельєфом, близьким рівнем залягання ґрунтових вод.

Наведемо детальну характеристику досліджуваних ґрунтів на основі середніх багаторічних значень ґрунтових показників за даними моніторингових спостережень.

#### ***Дерново-підзолисті піщані та суніщані некарбонатні ґрунти.***

Дерново-підзолисті ґрунти легкого гранулометричного складу характеризуються низькою забезпеченістю доступними для рослин формами поживних речовин [2,28,44,81,83,102,144,145,193, 94,220]. Вміст нітратної та амонійної форм азоту у зазначених ґрунтах, як і в будь-яких інших, є досить динамічним (рис. 2.4, 2.5) і залежить від запасів гумусу, реакції, вологості, температури ґрунту, його фізичного стану та способу вирощування сільськогосподарських культур.

За багаторічний період моніторингових спостережень середній вміст нітратного азоту в досліджуваному ґрунті становить  $\text{NO}_3^- = 5,4$  мг/кг ґрунту, амоній-

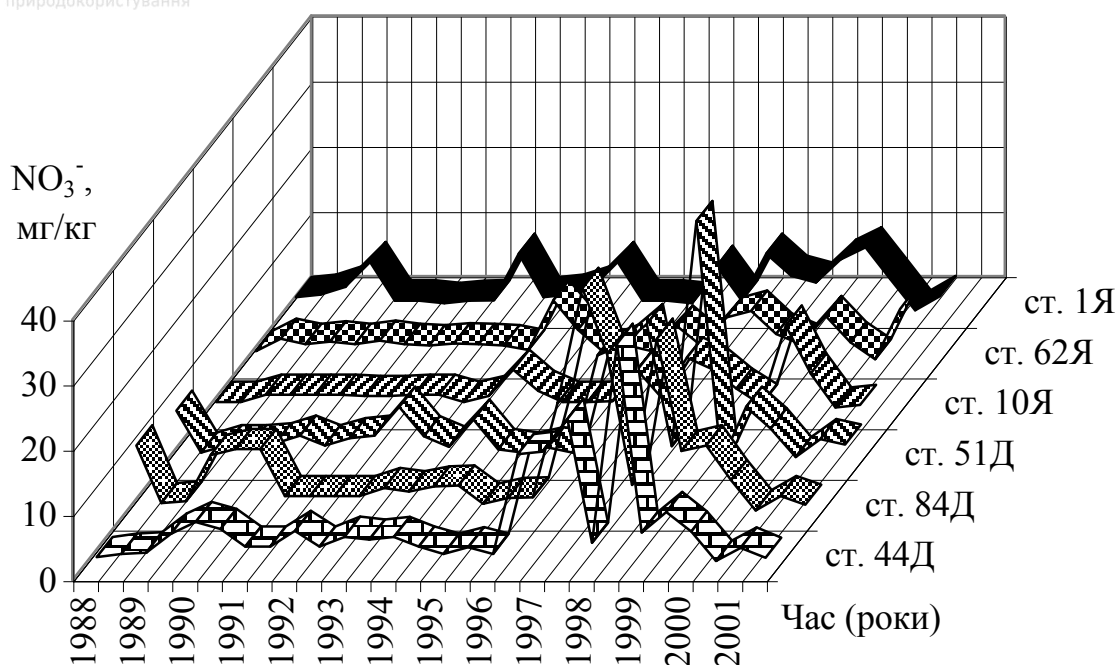


Рис. 2.4. Динаміка азоту нітратного  $\text{NO}_3^-$  (мг/кг) у дерново-підзолистому ґрунті (Д – ОС «Деражне-Постійне», Я – ОС «Язвинка»)

ного азоту –  $\text{NH}_4^+ = 16,7$  мг/кг ґрунту. Критична межа вмісту доступних форм азоту ( $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ ) для даного типу ґрунтів є близькою до 20 мг/кг ґрунту. Отже, результати спостережень свідчать про недостатню забезпеченість осушуваних дерново-підзолистих ґрунтів доступним азотом і необхідність внесення азотних добрив.

Динаміка вмісту доступних форм азоту нітратного  $\text{NO}_3^-$  (мг/кг) в дерново-підзолистих ґрунтах (див. рис. 2.5) показує, що протягом 1988-1995 років коливання вмісту нітратного азоту були незначними в діапазоні 2-10 мг/кг ґрунту. Починаючи з 1996 року динаміка  $\text{NO}_3^-$  в дерново-підзолистих ґрунтах різко змінилася. Вміст  $\text{NO}_3^-$  (мг/кг) збільшився до 40 мг/кг ґрунту, що, очевидно, пов'язано з процесами самовідновлення які супроводжуються накопиченням у дерново-підзолистому ґрунті гумусових речовин та детриту.

Динаміка азоту амонійного  $\text{NH}_4^+$  (мг/кг) (рис. 2.5) є дещо іншою і дуже мінливою протягом всього періоду спостережень, що, власне, є відображенням загальної високої лабільності форм азоту у гідроморфних ґрунтах. Межі коли-

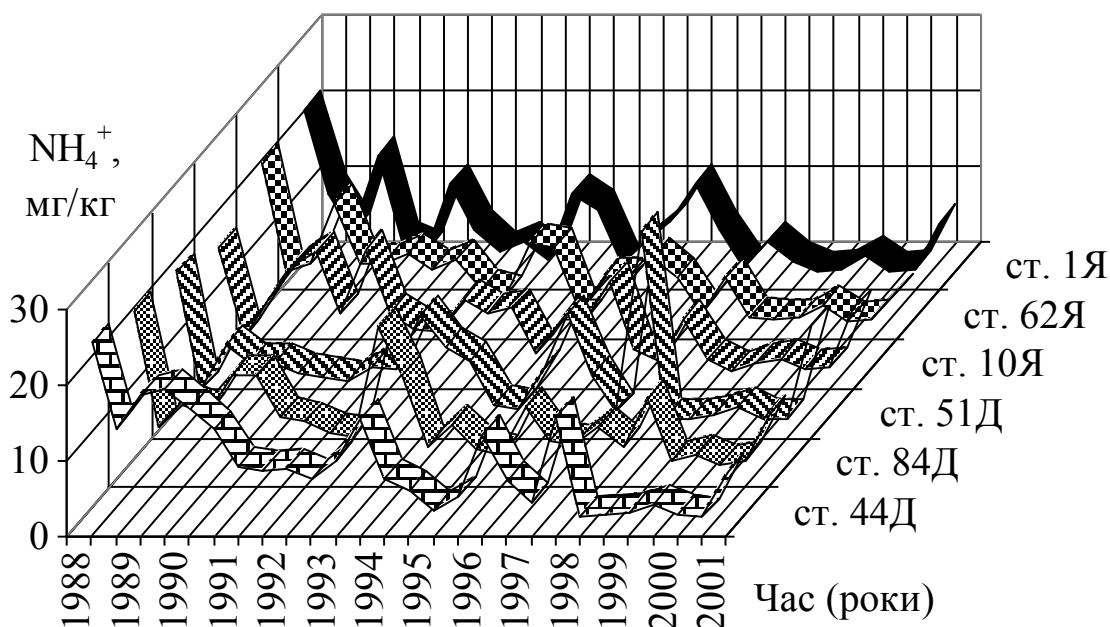


Рис. 2.5. Динаміка азоту амонійного  $\text{NH}_4^+$  (мг/кг) дерново-підзолистого ґрунту (Д – ОС «Деражне-Постійне», Я – ОС «Язвинка»)

вань становлять 2-22 мг/кг ґрунту, що свідчить про низький рівень родючості дерново-підзолистих ґрунтів.

Забезпеченість ґрунтів доступними фосфатами залежить від типу ґрунту і культур, що вирощуються на ньому [35,43]. Критична межа вмісту доступних фосфатів для мінеральних ґрунтів становить 50 мг/кг ґрунту. Середні багаторічні запаси доступних фосфатів для дерново-підзолистих ґрунтів досить високі і становлять  $\text{P}_2\text{O}_5=186$  мг/кг ґрунту, що пов'язано, очевидно, з накопиченням у верхньому шарі гумусу та рослинних залишків, до складу яких входить також і фосфор. В цілому фосфорний режим забезпечує у даних ґрунтах високий рівень потенційної родючості.

Вміст доступного фосфору  $\text{P}_2\text{O}_5$  у дерново-підзолистих ґрунтах (рис. 2.6) протягом 1988-1995 років коливався в межах 50-200 мг/кг ґрунту. В період з 1995 по 2000 роки спостережень вміст  $\text{P}_2\text{O}_5$  різко зростає до 600 мг/кг ґрунту, а починаючи з 2000 року вміст  $\text{P}_2\text{O}_5$  знову знижується. Це пов'язано, перш за все, з коливанням рівня використання осушуваних ґрунтів у землеробстві.



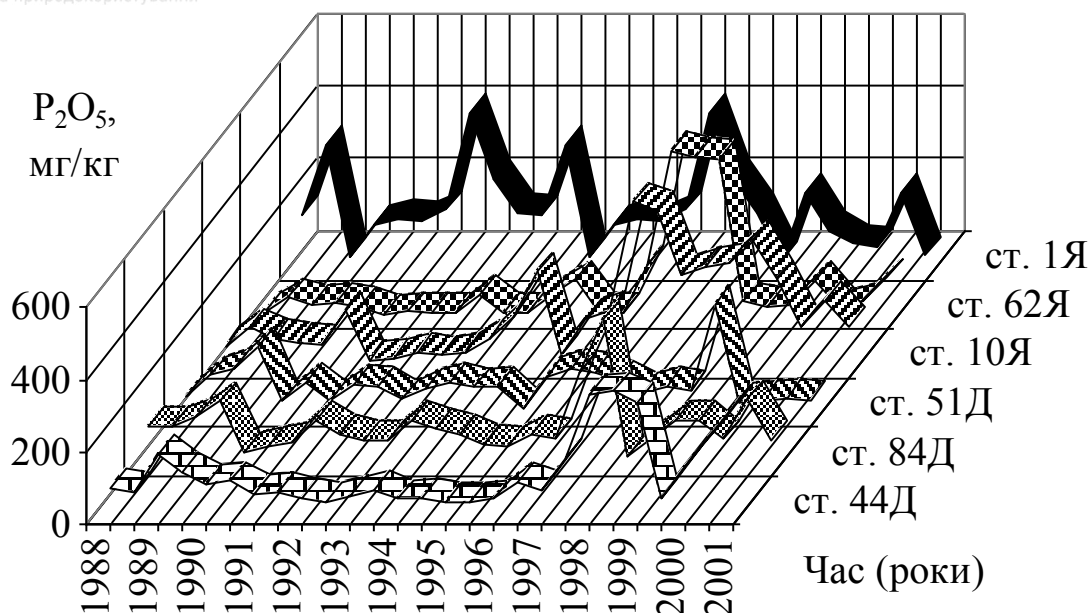


Рис. 2.6. Динаміка доступного фосфору у дерново-підзолистому ґрунті (Д – ОС «Деражне-Постійне», Я – ОС «Язвинка»)

Обмінний калій – основне джерело живлення рослин цим важливим елементом, тому вміст в ґрунті обмінного калію є базовим моніторинговим показником [21,35,43,46,94-96]. Запаси обмінного калію у контрольованих дерново-підзолистих ґрунтах дуже низькі  $K_2O=12$  мг/кг ґрунту проти критичної межі для даної ґрунтової відміни 100 мг/кг ґрунту. Такий вміст калію відповідає незадовільному рівню потенційної родючості.

Важливим показником є реакція ґрунту і характер її зміни протягом вегетаційного періоду і в багаторічному розрізі. При оцінці еколого-меліоративного стану осушуваних ґрунтів за даними моніторингу використовують величину рН сольової витяжки  $pH_{KCl}$ , яка характеризує вміст в ґрунті обмінного водню і дає уявлення про обмінну кислотність ґрунту. Відомо, що при внесенні у ґрунт великої кількості фізіологічно кислих мінеральних добрив у формі нейтральних солей обмінний водень переходить в ґрунтовий розчин і підкислює його. Ґрунтовий розчин при цьому може збагачуватися шкідливими для рослин іонами алюмінію і марганцю. За цією причиною обмінна кислотність є найбільш небезпечною для рослин формою ґрунтової кислотності і підлягає контролю. Реак-

ція ґрунту відображається на рості, розвитку і в кінцевому результаті на урожаї сільськогосподарських культур [35,41,59,81,82,88].

В осушуваних ґрунтах при надлишковому зволоженні створюються умови, які підвищують рухливість алюмінію, марганцю і заліза, які є токсичними для рослин. У зв'язку з цим спостереження за реакцією ґрунту є досить важливими для визначення родючості ґрунту та еколого-меліоративної оцінки даного ґрунту. Досліджувані нами дерново-підзолисті ґрунти за реакцією є кислими ( $pH_{KCl}=4,65$ ), що відповідає низькому рівню родючості [179]. Тому для цих ґрунтів рекомендується проводити вапнування, яке змінює реакцію ґрунту до нейтральної чи слабо лужної. Як бачимо з рис. 2.7, діапазон коливань  $pH_{KCl}=4,5\div 8$ , що свідчить про високу мінливість даного показника у змінних природних умовах території у просторі та часі.

Окисно-відновні умови мають важливе значення для формування родючості ґрунту. При проведенні осушувальних меліорацій органічні сполуки ґрунту окислюються, змінюється ступінь окислення заліза, марганцю, азоту, сірки, проходять окислення і відновлення кисню та водню. Ці реакції знаходять своє

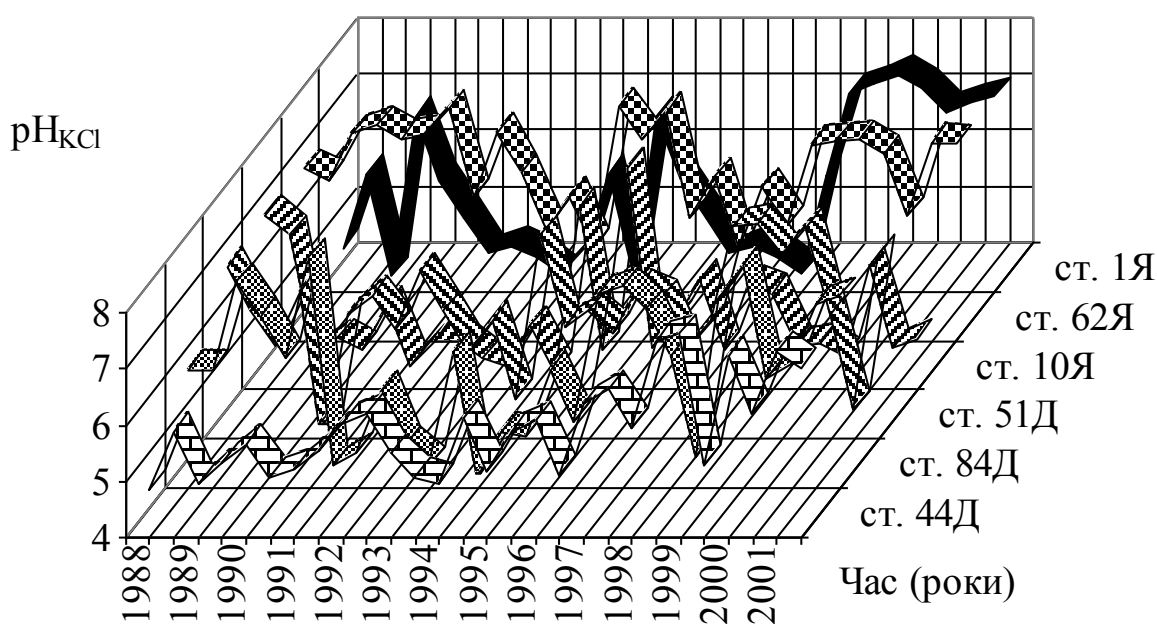


Рис. 2.7. Динаміка  $pH_{KCl}$  дерново-підзолистого ґрунту (Д – ОС «Деражне-Постійне», Я – ОС «Язвинка»)

відображення в окисно-відновному потенціалі ґрунту Eh. При висушуванні ґрунту, покращенні його аерації показник Eh збільшується. Встановлено, що якщо Eh знижується до 200 мВ і менше, в ґрунті розвиваються відновні процеси і відбувається глеєутворення, яке супроводжується погіршенням водно-фізичних властивостей ґрунту та підвищенням його токсичності. Оптимальні межі даного показника  $300 \text{ мВ} < Eh < 600 \text{ мВ}$  [179], що відповідає вимогам більшості культур до умов аерації.

Для дерново-підзолистих осушуваних ґрунтів окисно-відновний режим є стабільним і значення показника Eh знаходяться у допустимих межах з переважанням процесів окислення (рис. 2.8). Такі окисно-відновні умови є в цілому сприятливими для росту і розвитку сільськогосподарських культур.

Дерново-підзолисті ґрунти меліорованих земель часто досить добре забезпечені органічною речовиною через наявність органічних (зазвичай торфових) домішок у формі дрібнодисперсного детриту. Ці домішки при лабораторному визначенні вмісту гумусу за методом Тюріна залишаються у зразках та ідентифікуються як «гумус», створюючи ілюзію високого вмісту специфічних

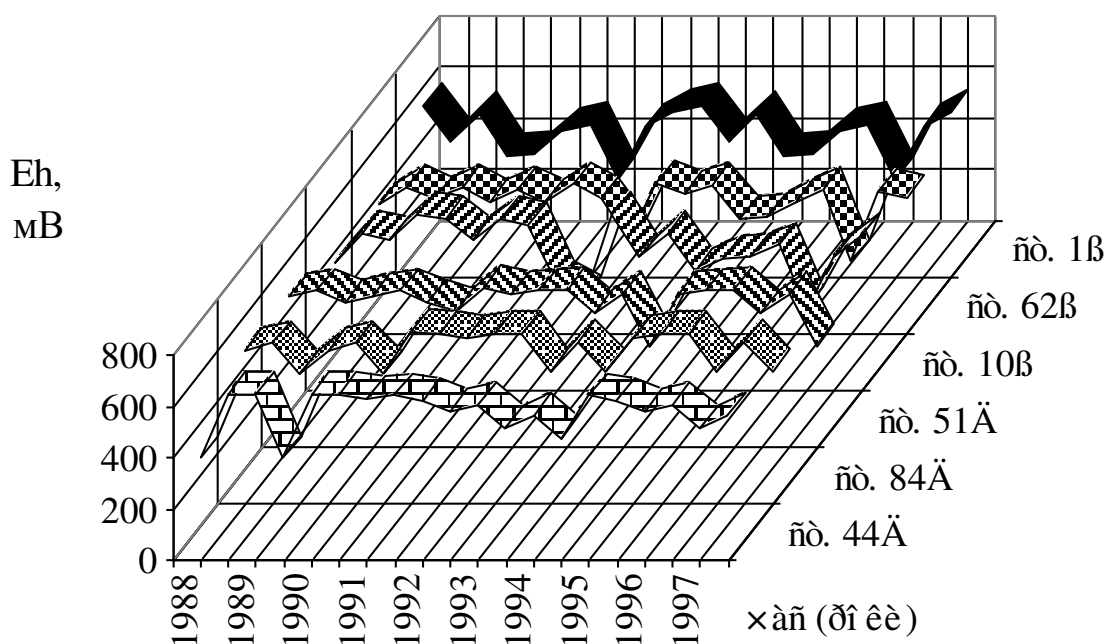


Рис. 2.8. Динаміка Eh у дерново-підзолистих ґрунтах (Д – ОС «Деражне-Постійне», Я – ОС «Язвинка»)



гумусових речовин порівняно з негідроморфними аналогами, який насправді часто є меншим. Все це робить дані непорівнюваними а метод Тюріна неприйнятним для осушених земель. Тому результати застосування методу Тюріна на гідроморфних ґрунтах ідентифікуємо не як «вміст гумусу», а як вміст органічної речовини.

За даними багаторічних моніторингових досліджень вміст органічної речовини (G, %) у досліджуваних ґрунтах в середньому становить 3,3-5,4 % і відповідає високому рівню потенційної родючості. Такий високий вміст органічної речовини, як ми вже зазначали, не є характерним для дерново-підзолистих ґрунтів [29,31,43,60,64,123,156,178,229]. Як видно з рис. 2.9, вміст органіки протягом 1988-1993 років не перевищував 2 %. В 1994 році вміст органічної речовини почав підвищуватися і в 1997-1998 роках досягнув 6 % і більше. Таке значне підвищення вмісту органічної речовини, очевидно, обумовлене процесами надходження, мінералізації та трансформації органічної речовини в ґрунті, які відбувалися під впливом комплексу природних, а в меліорованих ґрунтах і антропогенних факторів за певний проміжок часу, механізм яких потребує з'ясування і окремого дослідження.

Підвищення вмісту органічної речовини суттєво відобразилося і на вмісті доступних форм азоту, вміст яких в цей же період часу також різко підвищився (див. рис. 2.4, 2.5), а починаючи з 1999 року знову знизився до 1,5-2 %. Причиною цього може бути різкий занепад сільськогосподарського виробництва, коли знизився загальний рівень використання земель сільськогосподарського призначення, в тому числі і осушуваних, на фоні припинення удобрення земель.

Аналіз водної витяжки дає можливість проаналізувати динаміку іонного складу ґрунтового розчину, встановити характер і тип засолення ґрунту. Дерново-підзолисті ґрунти незасолені, ознаки токсикації відсутні, коливання вмісту хлоридів та сульфатів не перевищували межі у 0,1 %.

Все вищесказане дає змогу оцінити родючість дерново-підзолистих ґрунтів як *низьку*, а загальний агроекологічний стан меліорованих земель Рівненщини з дерново-підзолистими ґрунтами як *незадовільний*.

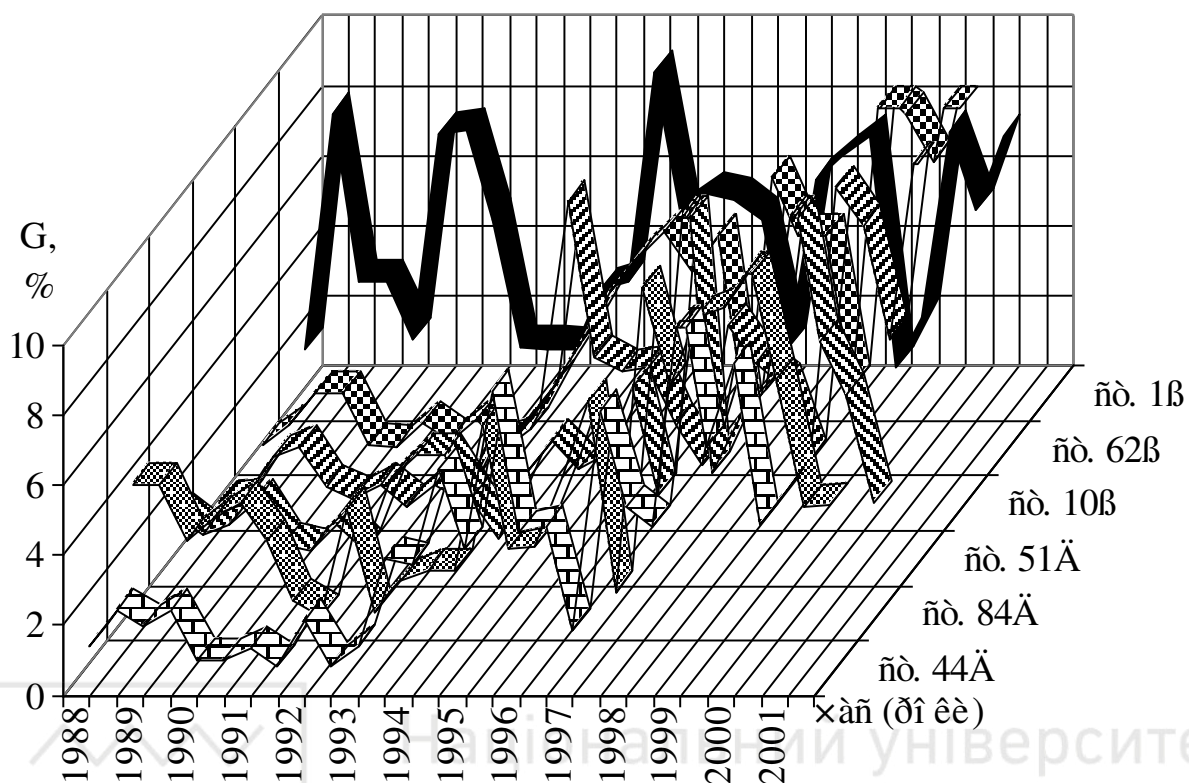


Рис. 2.9. Динаміка органічної речовини (гумусу) G (%) у дерново-підзолистих ґрунтах (Д – ОС «Деражне-Постійне», Я – ОС «Язвинка»)

### ***Торфово-болотні та торфові карбонатні ґрунти.***

Як і усі органогенні, досліджувані торфово-болотні ґрунти досить добре забезпечені доступними формами азоту. Середні багаторічні значення для основних форм доступного азоту  $\text{NO}_3^- = 118$  мг/кг ґрунту,  $\text{NH}_4^+ = 59$  мг/кг ґрунту. Протягом досліджуваного періоду спостережень мають місце перевищення нітратної форми над амонійною у зв'язку з тим, що амонійна форма частково обмінно поглинена ґрунтовим колоїдним комплексом.

Торфово-болотні ґрунти високозабезпечені доступним фосфором  $\text{P}_2\text{O}_5 = 197$  мг/кг ґрунту. Критичний вміст  $\text{P}_2\text{O}_5 = 100$  мг/кг для торфових ґрунтів. Вміст фосфору мінливий за роками спостережень, що пояснюється просторовою строкатістю доступних форм фосфору, але забезпечує високу родючість торфово-болотних ґрунтів.

Вміст доступних форм калію у переводі на  $\text{K}_2\text{O}$  дуже низький і становить



за багаторіччя 12 мг/кг ґрунту. Така ситуація властива органогенним ґрунтам за відсутності штучного регулювання калійного режиму.

Водний режим торфво-болотних ґрунтів найбільше залежить від випадання атмосферних опадів та процесів випаровування. При аналізі водного режиму торфових ґрунтів репрезентативними є значення масової вологості орного шару ґрунту. За ступенем відхилення фактичних значень вологості ґрунту від оптимальних, за які приймаємо значення середньобагаторічної найменшої вологості, ми оцінювали водний режим торфво-болотних ґрунтів за роками спостережень. Неприятливий водний режим торфво-болотних ґрунтів пов'язаний зі спонтанністю його формування внаслідок підтоплення-висушування та відсутності регулювання за допомогою зволоження через дренажну мережу, яке за роки спостережень не проводилося.

За реакцією ґрунтового розчину торфво-болотні ґрунти слабо лужні ( $pH_{KCl}=7,3$ ), що є наслідком унікальної властивості торфових ґрунтів Західного Лісостепу – високого вмісту карбонатів кальцію, і що, у свою чергу, створює важливий базис для формування високої потенційної родючості.

Окисно-відновний режим торфових ґрунтів за період спостережень в цілому був у допустимих межах (середнє  $Eh=392$  мВ) і свідчить про переважання окислювальних процесів, що відбуваються в торфво-болотних ґрунтах внаслідок їх періодичного переосушення.

Іонний склад водної витяжки характеризується стабільністю і показує, що в багаторічному розрізі торфво-болотні ґрунти мають хлоридний тип сольового режиму. Ступінь засолення за сухим залишком низький ( $S=0,31\%$ ), а за вмістом хлору ( $Cl=0,1\%$ ) – середній. Такий вміст солей є типовим для осушених торфовищ багатьох осушуваних територій України. Враховуючи високий вміст хлору на фоні досить низького вмісту кальцію, потенційна родючість торфво-болотних ґрунтів лісостепової частини Рівненщини є середньою.

На підставі наведених даних можна стверджувати, що потенційна родючість осушуваних торфових ґрунтів Рівненської області є *середньою*, а загаль-

ний агроекологічний стан меліорованих територій, представлених торфво-болотними та торфовими ґрунтами – *задовільним*.

### ***Сірі лісові ґрунти.***

У сірих лісових ґрунтах, згідно даних багаторічних моніторингових спостережень, запаси доступних форм азоту внаслідок їхнього інтенсивного використання знизилися в середньому до 15,53 мг/кг, що значно нижче від оптимальної (36-50 мг/кг) екологічної норми [179]. Вміст нітратного азоту становить лише  $\text{NO}_3^- = 7,59$  мг/кг ґрунту. Це нижче від критичної межі (20 мг/кг) і засвідчує низький рівень родючості даних ґрунтів та несприятливий агроекологічний стан ґрунтово-земельних ресурсів Рівненщини, представлених сірими лісовими ґрунтами.

З рис. 2.10 видно, що вміст азоту нітратного протягом періоду спостережень суттєво змінювався і, при цьому, процес був стаціонарним. Так, в період з 1988 по 1995 роки вміст  $\text{NO}_3^-$  не перевищував 5 мг/кг ґрунту.

З підвищенням ефективності сільськогосподарського виробництва та все більшого залучення осушуваних земель для вирощування сільськогосподарсь-

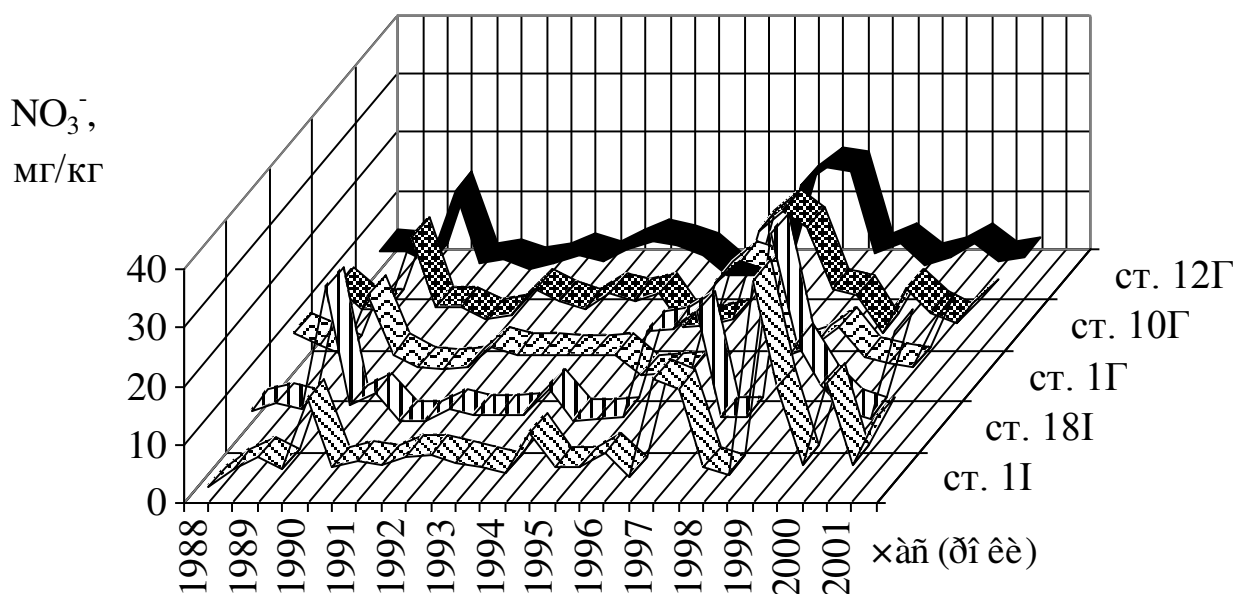


Рис. 2.10. Динаміка азоту нітратного (мг/кг) у сірому лісовому ґрунті (І – ОС «Іква», Г – ОС «Головниця»)

ких культур, починаючи з 1995 року (а можливо і у зв'язку зі змінами природно-кліматичних закономірностей обігу природного азоту), вміст азоту нітратного зріс до 40 мг/кг ґрунту.

Таким чином, осушувані сірі лісові ґрунти досліджуваної території набули властивостей сприятливих щодо азотного режиму і можуть використовуватися для вирощування більшості сільськогосподарських культур за умови обґрунтованого внесення азотних добрив.

Для амонійної форми доступного азоту динаміка змін є дещо іншою: протягом всього періоду спостережень характерні значні коливання вмісту з відчутними ознаками нестационарності. Так у 1994-1995 роках спостерігається значне падіння вмісту загального азоту і особливо його амонійної форми  $\text{NH}_4^+$  = 1-3 мг/кг ґрунту (рис. 2.10 та 2.11), що є значно нижче від критичної агроекологічної межі для мінеральних ґрунтів (20 мг/кг). Такий низький вміст доступних форм азоту в осушуваних сірих лісових ґрунтах свідчить про низьку родючість зазначених ґрунтів та критичний екологічний стан земель. У зв'язку з цим існує гостра необхідність проведення агрохімічних, агротехнічних, агромеліоративних та ін. заходів, які б сприяли підвищенню вмісту доступного для рослин азо-

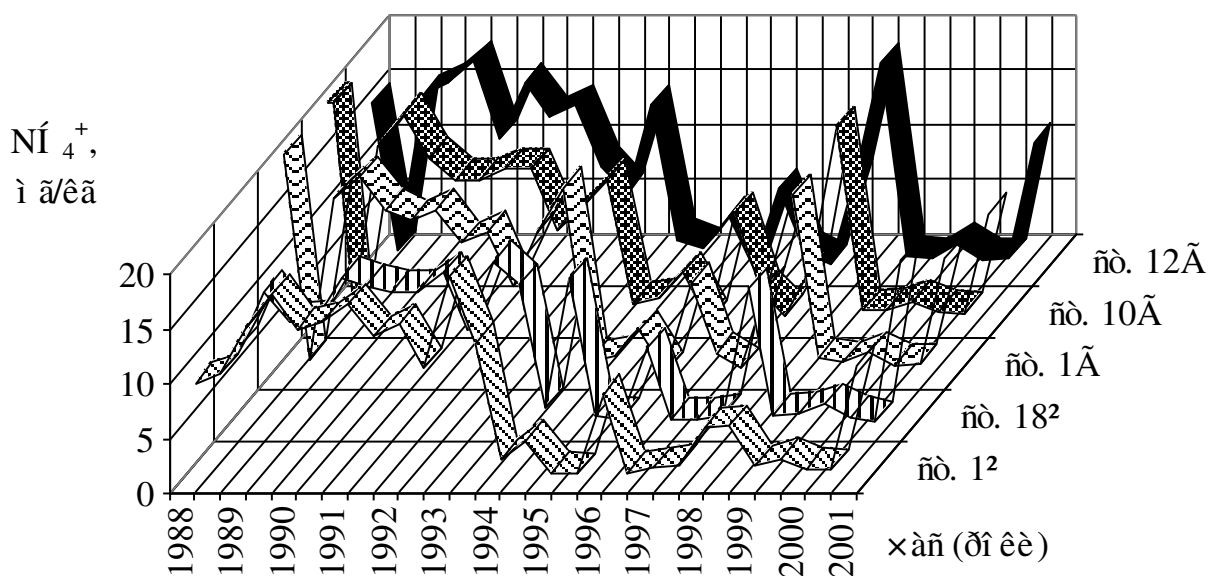


Рис. 2.11. Динаміка азоту амонійного (мг/кг) у сірому лісовому ґрунті (I – ОС «Іква», Г – ОС «Головниця»)



ту в сірих лісових ґрунтах.

Процес коливання вмісту доступного фосфору за більшістю рядів є стаціонарним (рис. 2.12). За багаторічний період спостережень запаси рухомого фосфору в середньому становлять 80 мг/кг ґрунту проти критичної межі 50 мг/кг ґрунту, що забезпечує середній рівень родючості сірих лісових ґрунтів. Високими є запаси доступного фосфору  $P_2O_5=210$  мг/кг ґрунту за даними стаціонару № 12 на ОС «Головниця», що свідчить про високу родючість ґрунту за вмістом фосфору на даній території.

Реакція ґрунтового розчину сірих лісових ґрунтів є лужною і становить в середньому  $pH_{KCl}=7,4$  за багаторічний період спостережень (див. рис. 2.12). Мінімальне значення  $pH_{KCl}=5,9$  спостерігалось на початку вегетаційного періоду в 1994 році на ОС «Іква» (стаціонар № 1), максимальне –  $pH_{KCl}=8,75$  спостерігалось на початку вегетаційного періоду в 1992 році (стаціонари № 18 ОС «Іква» та № 10 ОС «Головниця»).

Окисно-відновний режим за період спостережень є оптимальним  $Eh=439$  мВ і свідчить про збалансованість окислювальних та відновлювальних процесів в досліджуваних ґрунтах та сприятливі умови для росту і розвитку рослин.

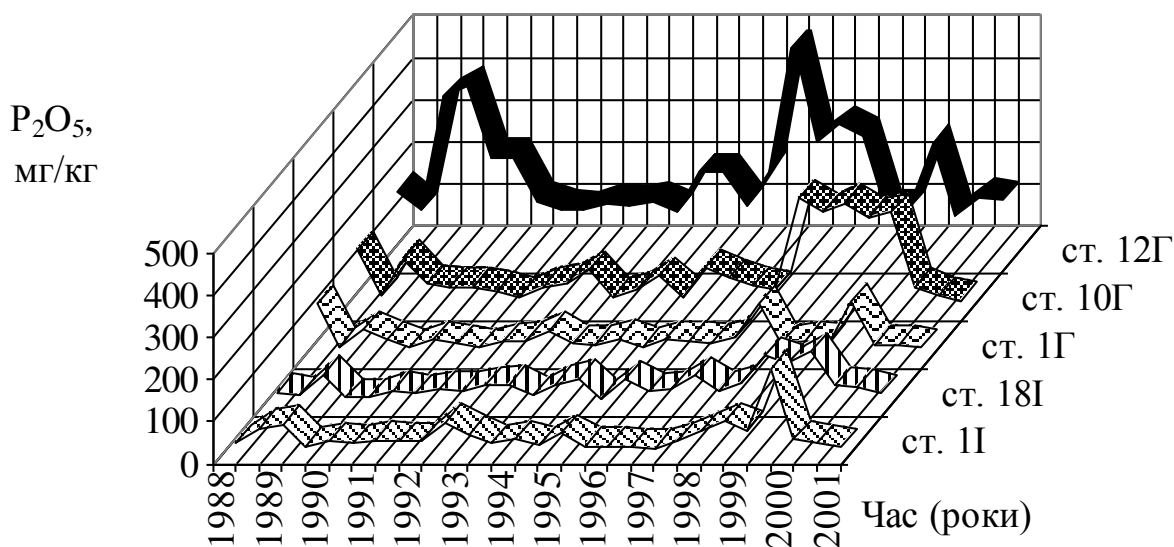


Рис. 2.12. Динаміка вмісту фосфору  $P_2O_5$  (мг/кг) у сірому лісовому ґрунті (І – ОС «Іква», Г – ОС «Головниця»)



Динаміка  $pH_{KCl}$  у сірому лісовому ґрунті (рис. 2.13), свідчить про стаціонарне коливання  $pH_{KCl}$  у діапазоні від нейтральної до слабо лужної реакції. Такі умови характеризують високий рівень потенційної родючості ґрунту.

Цікавим є той факт, що, як і у дерново-підзолистих ґрунтах, на окремих ділянках у сірих лісових ґрунтах з середини 90-х років минулого століття проявляється феномен зростання вмісту органіки (рис. 2.14), пояснення якого потребує спеціальних ретроспективних досліджень. Імовірно дана тенденція викликана процесами відновлення агрогеосистем після припинення їхнього сільськогосподарського використання. Не зважаючи на періодичний прояв окислювальних умов, вміст органічної речовини залишається значним ( $G=5,85\%$ ) (див. рис. 2.14), що забезпечує високий рівень потенційної родючості.

Аналіз іонного складу водної витяжки дає можливість стверджувати, що ґрунт незасолений, а катіонний та аніонний склад гарантують високий рівень потенційної родючості.

Загальний ступінь родючості сірих лісових ґрунтів оцінюється як *високий* за критеріями, наведеними у [179], а загальний агроекологічний стан земель з сірими лісовими ґрунтами як *сприятливий*.

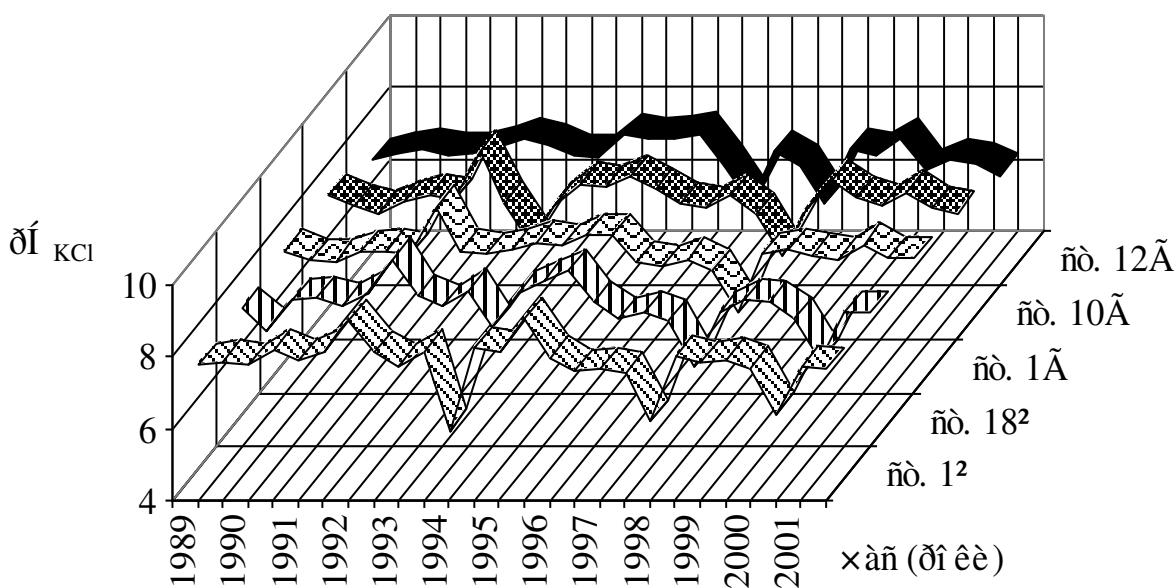


Рис. 2.13. Динаміка  $pH_{KCl}$  у сірому лісовому ґрунті (І – ОС «Іква», Г – ОС «Головниця»)

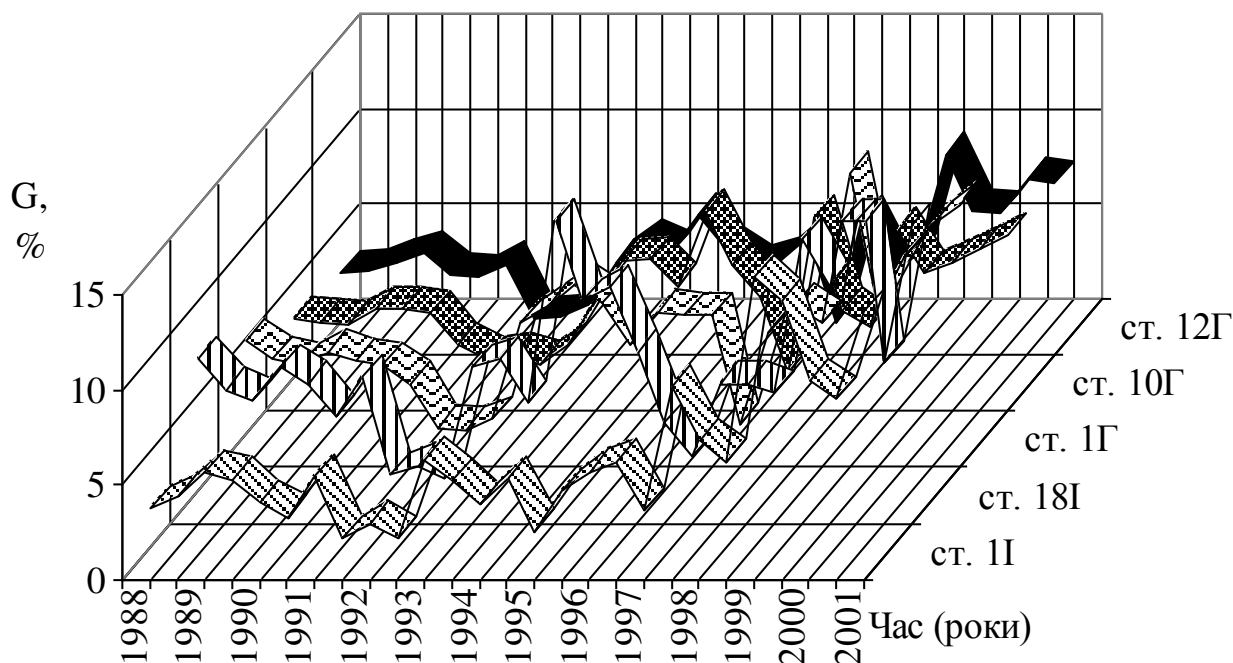


Рис. 2.14. Динаміка вмісту органічної речовини (%) у сірому лісовому ґрунті (І – ОС «Іква», Г – ОС «Головниця»)

## 2.4. Методи досліджень і вимірювань

Ще з часів відомого мислителя XV століття Миколи Кузанського, за висловом якого людина розумна – це людина, яка вимірює, було відомо про важливість правильної побудови системи: *об'єкт – вимір – опис (модель) об'єкта*. Принципи таких побудов дійшли до наших днів практично без суттєвих змін, а от системи показників, інструменти, методи та методика зазнали суттєвої еволюції у зв'язку з розширенням кількості та складності задач, зростанням обсягу спеціальних знань про природу.

Беручи до уваги ту обставину, що лише достовірна та максимально повна інформація про стан та властивості досліджуваної системи є підставою для об'єктивного її опису та оцінки, нами було сформульовано набір підходів до вибору властивих методів досліджень меліорованих земель та методик визначення (вимірювання)

Для вирішення поставленої мети і завдань досліджень нами використову-



вався комплексний підхід у виборі методів досліджень. Основними з них були польовий, лабораторно-аналітичний та статистичний.

Спеціальні польові дослідження включали вибір об'єктів досліджень, загальне знайомство з їх геоморфологічними та ґрунтово-кліматичними умовами, аналіз вихідних даних багаторічної динаміки агрохімічних ґрунтових показників та сольового складу водної витяжки під впливом осушення. Завданням польових досліджень було отримання інформації про фактичне значення ґрунтових змінних у визначених пунктах території для потреб наступної параметризації та верифікації математичних моделей. Для цього проводився відбір зразків поверхневого шару ґрунтів (у інтервалі глибин 0-30 см) з подальшими лабораторними аналізами та аналітичною обробкою результатів. Польовий відбір зразків проводили для орного шару ґрунту протягом чотирьох сезонів на початку та в кінці періоду вегетації [197]. Розташування точок відбору ґрунтових зразків здійснювали на досліджуваних ґрунтах осушувальних систем в радіусі 1000-2000 м від моніторингових стаціонарів, що дозволяє враховувати природні, меліоративні ознаки ґрунтів і земель, тип осушувальної системи, забрудненість тощо, характерні для контрольованого об'єкта.

Використовувались також результати ЕММ. Кожна типова осушувальна система характеризується мережею пунктів, стаціонарів, постів та полігонів моніторингових спостережень у межах поперечних смуг, які перетинають меліоративну систему в межах водозбору з охопленням зони впливу і території поза цією зоною. Пунктом спостереження є зазвичай одна точка (свердловина), а полігоном – комплекс пунктів і постів (шурф, гідрологічний пост, свердловина, гідрометричний пост і т. і.), розташованих на одній осушувальній карті чи у межах деякої одиниці природного районування. Кількість спостережних точок визначалася експертним шляхом виходячи з вимог мінімальних видатків і достатнього рівня охоплення території. Кількість і положення ґрунтових стаціонарів визначалися в залежності від складності ґрунтового покриття, літолого-гідрологічних та ландшафтних умов території і у відповідності до програми моніторингу.



Методологія еколого-меліоративного моніторингу базується на системі показників, перелік яких обумовлений необхідністю найточнішого і повного опису основних властивостей і функцій меліорованих ґрунтів та інших природних компонентів, ґрунтотворних та деградаційних процесів, здатності ґрунту задовольняти потреби сільськогосподарських культур, особливостей водного режиму тощо. Основними з них є показники сольового складу ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ + $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) водної витяжки ґрунтів та агрохімічні показники ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{pH}_{\text{КСІ}}$ ,  $\text{Eh}$ , органічна речовина), отримані за багаторічний (з 1987 по 2003 роки) період моніторингових спостережень гідрогеолого-меліоративною службою та дані наших власних польових та лабораторних досліджень, які проводилися на типових осушуваних системах (Додатки А, Б) згідно чинної методики моніторингу осушуваних земель [179]. Лабораторні аналізи зразків проводилися в сертифікованій лабораторії Рівненської гідрогеолого-меліоративної експедиції згідно стандартних методик [181-198] за посібником «Методи виконання аналізів природної води і ґрунтів для еколого-меліоративного моніторингу» [179]. Повторність визначень в зразку – триразова, кількість точок відбору ґрунтових зразків в один термін на одному об'єкті складав 9-15, сумарна кількість точок за один тур відбору становила 72.

Інформація про атестовані методики визначення базових показників ґрунтового покриву меліорованих земель у системі еколого-меліоративного моніторингу наведена у табл. 2.6.

Нижче наведено стислу характеристику принципів визначення базових показників стану меліорованих ґрунтів, які лежать в основі застосовуваних методик.

#### **Методи визначення агрохімічних показників ґрунту:**

Сутність колориметричного методу визначення азоту амонійного полягає у вилученні обмінного амонію з ґрунту розчином хлористого калію, отриманні забарвленої індофенольної сполуки, утвореної при взаємодії амонію з гіпохлоритом і сацитлатом натрію в лужному середовищі і наступним фотоколориметруванням забарвленого розчину. Сумарна відносна похибка методу становить

15 % при масовій долі азоту амонію до 10 млн<sup>-1</sup>, 10 % – від 10 до 30 млн<sup>-1</sup>, 7,5 % – більше 30 млн<sup>-1</sup>.

Таблиця 2.6

Перелік використаних показників і атестованих методик їх визначення (за [179])

Назва показника	Назва методів (методик) визначення	Міжнародні, державні, відомчі стандарти
<b>Ґрунти</b>		
Азот амонійний	За методом ЦИНАО Колориметричний метод	ГОСТ 27753-88
Азот нітратний	Іонометричний метод	ГОСТ 26951-86
Фосфор рухомий	За методом Кірсанова	ГОСТ 26204-91 (ДСТУ 4405:2005)
pH (сольове)	Понтенціометричний	ГОСТ 26483-85 (ДСТУ ISO 10390-2001)
Окисно-відновний потенціал (Eh)	Понтенціометричний	І.П.Гречин, І.С.Каурічев. та ін., 1964; (ДСТУ ISO 11271:2004)
Вологість	Термостатно-ваговий	ГОСТ 28268-89
Вологість гігроскопічна	Хімічний	ГОСТ 28268-89 (ДСТУ ISO 11465-2001)
Гумус (органічна речовина)	Метод Тюріна (фотокolorиметричний)	ГОСТ 26213-91
<b>Водна витяжка</b>		
- натрій і калій, хлор, сульфати	Метод витягнення легко-розчинних солей, титрометричний	ГОСТ 26425-85 ГОСТ 26426-85 ГОСТ 26427-85
- карбонати та бікарбонати	Титрометричний	ГОСТ 26424-85
- кальцій і магній	Комплексометричний	ГОСТ 26428-85

Сутність іонометричного методу визначення азоту нітратного полягає у вилученні нітратів з ґрунту розчином хлористого калію, наступним відновленням нітратів до нітритів гідразином в присутності міді в якості каталізатора і фотометричним визначенням їх у вигляді забарвленої діазосполуки. Сумарна відносна похибка методу становить 20 % при масовій частці азоту амонію до 5 млн<sup>-1</sup>, 7,5 % – більше 5 млн<sup>-1</sup>.



Сутність визначення вмісту рухомого фосфору за методом Кірсанова в некарбонатних ґрунтах полягає у вилученні фосфору з ґрунту розчином соляної кислоти з наступним визначенням фосфору у вигляді фосфорно-молібденового комплексу на фотоелектроколориметрі. Сумарна похибка методу становить 10% для діапазону концентрацій  $P_2O_5$  до 30 мг/кг, 7,5 % – більше 30 мг/кг ґрунту. Сутність визначення вмісту рухомого фосфору за методом Кірсанова в карбонатних ґрунтах полягає у вилученні рухомих форм фосфору з ґрунту розчином вуглекислого аміаку з наступним визначенням фосфору у вигляді синього фосфорно-молібденового комплексу на фотоелектроколориметрі. Сумарна похибка методу становить 17,5 % для діапазону концентрацій  $P_2O_5$  до 15 мг/кг, 12,5 % – від 15 до 30 мг/кг ґрунту, 10 % – більше 30 мг/кг ґрунту.

Сутність методу визначення  $pH_{KCl}$  полягає у вилученні обмінних катіонів, нітратів і рухомої сірки з ґрунту розчином хлористого калію і потенціометричному визначенні  $pH_{KCl}$  з використанням скляного електрода.

Окисно-відновний потенціал (Eh) вимірюємо на приладі ППМ. Вимірювання Eh можливе в межах 0-1000 мВ з точністю  $\pm 10$  мВ.

Визначення гумусу в ґрунті за методом Тюріна базується на окисленні гумусу ґрунту розчином двохромовоокислого калію ( $K_2Cr_2O_7$ ) в сірчаній кислоті з наступним визначенням трьохвалентного хрому, еквівалентного вмісту гумусу на фотоколориметрі. Сумарна похибка методу становить 10 % для діапазону вмісту гумусу до 5 %, 5 % – більше 5 %.

#### **Методи визначення катіонно-аніонного складу водної витяжки:**

Метод визначення карбонату і бікарбонату у водній витяжці полягає у титруванні розчином сірчаної кислоти у водній витяжці іонів карбонату до  $pH=8,3$ , бікарбонатів до  $pH=4,4$ . Кінцеву точку титрування встановлюють за допомогою pH-метра або за зміною забарвлення індикаторів – фенолфталеїну ( $pH=8,3$ ) і метилового оранжевого ( $pH=4,4$ ). Сумарна похибка методу, виражена середнім квадратичним відхиленням, становить 0,07 ммоль в 100 г ґрунту.

Визначення іона хлору аргентометричним методом за Мором полягає в титруванні іона хлору в водній витяжці розчином азотнокислого срібла, який



утворює з іоном хлору важкорозчинну сполуку. Для встановлення кінцевої точки титрування в розчин додають хлористий калій, який утворює з надлишком срібла осад, що викликає перехід забарвлення від жовтого до червоно-бурого. Сумарна відносна похибка методу становить 15 % – для кількості еквівалентів хлору до 2 ммоль на 100 г ґрунту, 5% – більше 2 ммоль на 100 г ґрунту.

Вагове визначення іона сульфату полягає в осадженні іону сульфату розчином хлористого барію і зважуванні прокаленого залишку. Для попередження випадання в осад карбонату, фосфату барію та інших сполук пробу, що аналізується, підкислюють соляною кислотою. Сумарна відносна похибка становить 10 % для кількості еквівалентів іону сульфатів до 3 ммоль на 100 г ґрунту, 5 % – більше 3 ммоль на 100 г ґрунту.

Визначення кальцію і магнію комплексонометричним методом полягає у послідовному комплексонометричному титруванні в одній пробі іонів кальцію та іонів магнію (при рН близько 10) з використанням металоіндикатора – хрому кислотного темно-синього. Сумарна відносна похибка, що виражена коефіцієнтом варіації, становить 12,5 % для кількості еквівалентів кальцію та магнію від 0,5 до 2 ммоль на 100 г ґрунту, 10 % – від 2 до 6 ммоль на 100 г ґрунту, 5 % – більше 6 ммоль на 100 г ґрунту.

Використані добре апробовані стандартні методики досліджень і вимірювань, а також значні обсяги отриманих даних моніторингових спостережень свідчать про достатній рівень репрезентативності проведених досліджень, а отже і про придатність отриманих результатів для побудови емпіричних моделей відтворення даних моніторингу осушуваних земель.

## **Висновки до розділу**

1. Природнокліматичні умови осушуваних земель Рівненської області є неоднорідними і потребують розробки та впровадження досконалої моніторингової системи спостережень з застосуванням просторового відтворення та аналізу





інформації з метою оцінки, управління водним режимом і продуктивністю, раціонального землеустрою, запровадження природоохоронних заходів.

2. Аналіз особливостей коливання кліматичних факторів та водного режиму ґрунтів засвідчує близькість характеру динаміки показників на різних об'єктах моніторингу як у окремі роки, так і за багаторіччя, що дає змогу підтвердити робочу гіпотезу та перейти до кількісного опису ґрунтово-кліматичних закономірностей.

3. Система моніторингових досліджень, яка нині існує, передбачає накопичення даних про стан осушуваних земель, їх первинну обробку та надання окремої інформації споживачам, не передбачаючи при цьому просторового аналізу даних, широкого територіального охоплення споживачів інформації усіх форм власності.

4. Типові еталонні осушувані системи на території Рівненської області які репрезентують осушувані землі Західного Полісся та Лісостепу України достатньо повно відображають стан осушуваних земель з характерним набором природних та технічних характеристик.

5. Основні агрохімічні властивості різних типів ґрунтів мають стаціонарний та сезонний характер динаміки під дією кліматичних чинників та зовнішнього регулювання водного і поживного режимів. Родючість ґрунту та еколого-меліоративний стан осушуваних земель змінюються в залежності від їхньої типології та середніх багаторічних значень ґрунтових показників.

6. З переліку показників моніторингу осушуваних ґрунтів нами виділено мінімальний перелік таких, які у достатній мірі характеризують динамічні та просторові закономірності зміни стану ґрунтового покриву. Методики досліджень та фактичний матеріал є репрезентативними, придатними для аналізу та отримання обґрунтованих висновків, а отже й для вирішення поставленої мети – розробки методів відтворення моніторингової інформації.



### 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕМПІРИЧНИХ ТА ТЕОРЕТИЧНИХ ЗАКОНІВ РОЗПОДІЛУ ІМОВІРНОСТЕЙ ҐРУНТОВИХ ПОКАЗНИКІВ



Багаторічними моніторинговими спостереженнями, що проводилися на осушуваних землях, накопичено великий обсяг інформації, яка дозволяє вивчати ґрунтові процеси, аналізувати їх передісторію та розвиток в часі, оцінювати зміни властивостей ґрунту під дією динамічних умов і процесів на осушуваних територіях гумідної зони України.

Числові значення ґрунтових показників (вміст доступних форм нітратного азоту ( $\text{NO}_3$ ) та азоту амонійного ( $\text{NH}_4$ ), рухомого фосфору ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ), обмінного калію ( $\text{K}_2\text{O}$ ), кислотність ґрунту ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$ ), окисно-відновний потенціал (Eh), вміст органічної речовини (G), а також концентрація іонів  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  у водній витяжці з ґрунту є випадковими величинами, які в просторово-часовому розрізі набувають різних значень, що, у свою чергу, обумовлюється стохастичною природою ґрунтових процесів [51,53,56,61,73,83,84,132,258].

Маючи обмежений в часі та просторі матеріал спостережень, одним з наших завдань є поширення отриманих за ним висновків на весь процес у просторі і часі в цілому, а не тільки на той відрізок часу і той ґрунтовий стаціонар, де проводилися вимірювання. Така можливість є очікуваною, оскільки матеріал



спостережень репрезентативний і достатньою мірою висвітлює досліджувані процеси, що відбуваються в осушуваних ґрунтах гумідної зони України в багаторічному розрізі [57,61].

Аналіз даних багаторічних моніторингових спостережень здійснювався в три етапи: 1. Узагальнення вихідних даних (стиснення інформації); 2. Дослідження розподілів імовірностей та їх числових характеристик; 3. Інтерпретація отриманих результатів.

Лише коректний аналіз основних стохастичних закономірностей динаміки ґрунтових показників є теоретичною основою розробки принципів стохастичного моделювання ґрунтово-меліоративних режимів, а відтак створення системи відтворення моніторингової інформації на осушуваних землях України.

### 3.1. Вибіркові розподіли ґрунтових показників та їхня статистична апроксимація

Для обґрунтованого використання методів статистичного аналізу необхідно враховувати вид розподілів досліджуваних величин. При обробці даних за величинами агрохімічних показників та параметрів сольового режиму теоретичний вид функції розподілу, як правило, невідомий.

Відомо, що законом розподілу випадкової величини називається всяке співвідношення (функція), яке встановлює зв'язок між можливими значеннями випадкової величини та відповідними їм ймовірностями (частотами) [79,132,161,169,213,214]. З метою оцінки часових розподілів за кожним показником в цілому для осушуваних ґрунтів, ми об'єднали дані моніторингових спостережень на однотипних ґрунтових стаціонарах. Основними критеріями об'єднання даних спостережень з різних ґрунтових стаціонарів виступають *тип осушеного ґрунту та його гранулометричний склад*, оскільки саме вони найбільш суттєво впливають на властивості та поведінку досліджуваних ґрунтів [36,39,40,76,81,82]. Склад груп за типами є наступним:



- дерново-підзолисті піщані ґрунти – стаціонари 18, 19 (ОС «Воробино»), 44, 84 (ОС «Деражне-Постійне»), 10 (ОС «Язвинка»);
- дерново-підзолисті супіщані – стаціонари 23 (ОС «Воробино»), 51 (ОС «Деражне-Постійне»), 62 (ОС «Язвинка»);
- торфово-болотні – стаціонари 12, 26 (ОС «Іква»), 32, 41 (ОС «Стубелка»);
- сірі лісові середньосуглинкові – стаціонари 1, 7, 10, 12 (ОС «Головниця»), 6 (ОС «Стубелка»), 1, 18 (ОС «Іква»).

Таким чином, об'єднанням значень статистичних даних, яких набував кожен досліджуваний ґрунтовий показник протягом періоду спостережень, ми збільшили вибірку (довжину варіаційних рядів) у декілька разів.

Кожне окреме значення неперервної випадкової величини зазвичай не володіє ніякою відмінною від нуля імовірністю [49,50,144,219]. Для кількісного опису закону розподілу досліджуваних ґрунтових показників застосуємо імовірність події  $X < x$ , де  $x$  – деяке значення змінної, яка носить назву функції  $F(x)$ . Функція  $F(x) = P(X \leq x)$  є функцією розподілу досліджуваних ґрунтових характеристик  $X$ . Криві розподілів, що характеризують зазначену функцію розподілу, побудовані на стохастичній системі, під дією якої формується динаміка ґрунтових процесів осушуваних ґрунтів. Тому криві розподілу, які ми будемо використовувати для опису процесів, що відбуваються в меліорованих ґрунтах повинні починатися від деякого позитивного значення (або нуля), потім, підвищуючись, досягати свого найбільшого (модального) значення і далі, знижуючись простягатись в область нескінченості [54,144, 204,216,219]. Для цього ми використали так звану щільність розподілу ймовірностей  $f(x)$  – функції, яка дає чіткі уявлення про розподіл випадкових величин ґрунтових показників і характеризується частотою розподілу.

Для кожного досліджуваного типу ґрунту за ґрунтовими показниками сформуємо варіаційні ряди у вигляді впорядкованих сукупностей варіант та їх імовірностей [143,144]. При цьому всю множину наявних значень  $x_1, x_2, \dots, x_n$  за-



пишемо у зростаючому порядку. Виходячи з того, що досліджувані величини є неперервними, розіб'ємо варіаційні ряди на деякі інтервали.

Кількість інтервалів  $k$  для даного обсягу вибірки  $n$  визначимо за емпіричною формулою [15,132,246]:

$$k \geq 1 + 3,22 \ln n, \quad (3.1)$$

Кількість інтервалів повинна бути такою, щоб у межах кожного інтервалу розташовувалася певна кількість значень, частота їх була приблизно однаковою, а кількості інтервалів було достатньо для побудови кривих розподілу. У зв'язку із цією умовою ми приймаємо однакову кількість інтервалів для всіх досліджуваних ґрунтових характеристик рівною  $k = 10$ . Величина інтервалу  $h$  групування вибірових даних визначається за залежністю:

$$h = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{k - 1}, \quad (3.2)$$

де,  $X_{\max}, X_{\min}$  – відповідно найбільше та найменше значення величини  $X$ .

Емпіричний розподіл ґрунтових показників та аналіз їх середніх величин дозволяють виявити закономірності динаміки досліджуваних показників, тобто їхню часову структуру. Широкого практичного застосування в агрокліматології, гідрології, метеорології та ґрунтознавстві набули криві розподілу нормального виду (криві Гауса) [56,210,257], які досліджувалися з метою розробки теоретичних положень агрометеорологічного прогнозування. Застосовується підходи [3,50,246] пов'язані з логарифмічним перетворенням вихідних величин.

Високий ступінь розсіювання значень концентрацій іонів солей та значень агрохімічних показників значно спотворює істинну форму кривої розподілу. Для того, щоб звільнитися від впливу середнього значення  $\bar{X}$  (математичного



очікування) та середньоквадратичного відхилення  $\sigma_x$ , нормуємо значення випадкових величин їх логарифмуванням [210]. Маємо  $Y_n = \ln x$ .

За значеннями варіант нормованих значень ( $Y_n$ ) ґрунтових показників та їх частот ( $f_x$ ) нами побудовані гістограми розподілів (емпіричні розподіли) ймовірностей значень агрохімічних показників (рис. 3.1-3.6) та гістограми розподілів значень концентрації іонів водної витяжки досліджуваних ґрунтів, які показують частоту ( $f_x$ ) повторюваності кожної з визначених варіант. Як видно з рисунків 3.1-3.6, гістограми дуже різноманітні, причому їхній вигляд для різних ґрунтів, як правило, є різним. Однак чітко проявляються максимальні та мінімальні точки розподілу, що характерно для нормального та логарифмічно-нормального законів розподілу.

Перевірку статистичних гіпотез про можливість апроксимації вибірових розподілів деяким типом теоретичного розподілу (нормальним, логарифмічно-нормальним або експоненціальним) проведемо за допомогою  $\chi^2$ -критерію Пірсона, який оцінює ступінь випадкового розходження (чи згоди) між спостережуваним рядом і законом розподілу випадкової величини, що припускається [15, 50, 56,57] і визначається за формулою:

$$\chi^2 = n \sum_{i=1}^k \frac{(m_i^* - m_i)^2}{m_i}, \quad (3.3)$$

де  $m_i^*$  – емпіричні частоти в  $i$ -му інтервалі;  $m_i$  – теоретичні частоти попадання випадкової змінної в  $i$ -й інтервал;  $n$  – обсяг вибірки;  $k$  – кількість інтервалів.

Критерій  $\chi^2$  є одностороннім критерієм, який при великих значеннях стверджує невідповідність емпіричних даних теоретичній функції розподілу. Якщо отриманому значенню  $\chi^2$  буде відповідати мала ймовірність  $P(\chi^2)$ , то розходження між емпіричним і теоретичним розподілом є не випадковим і навпаки [15,132,210].

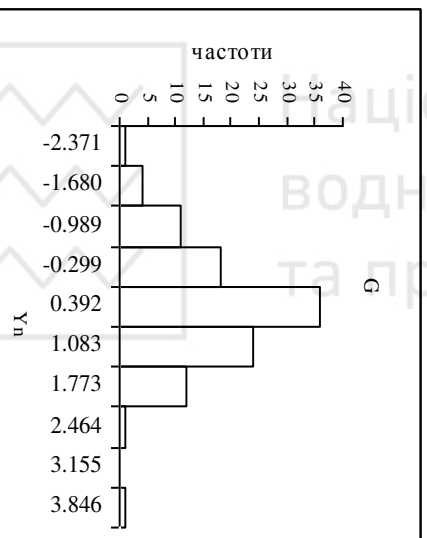
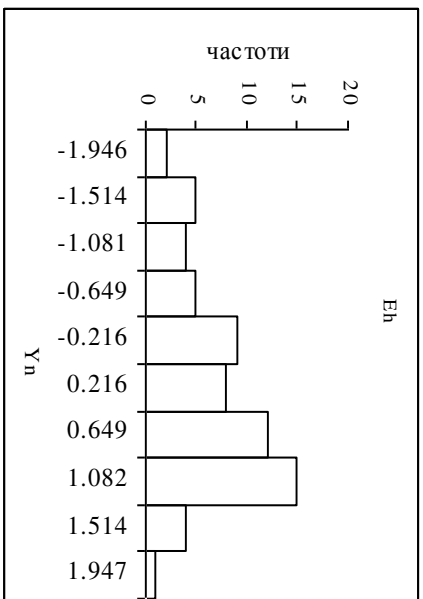
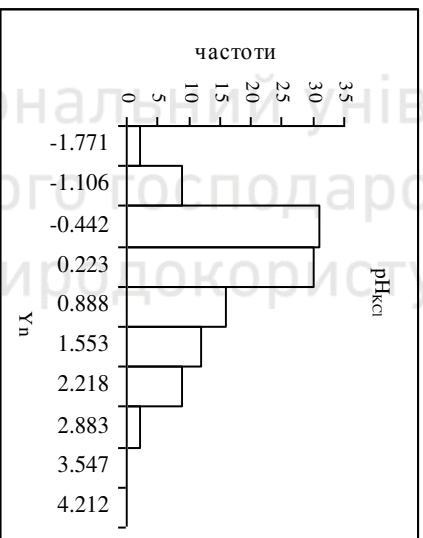
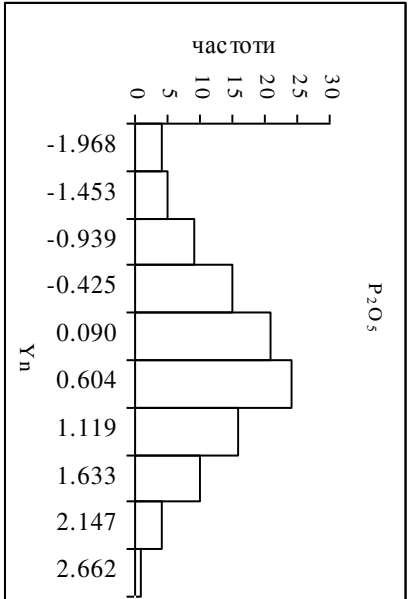
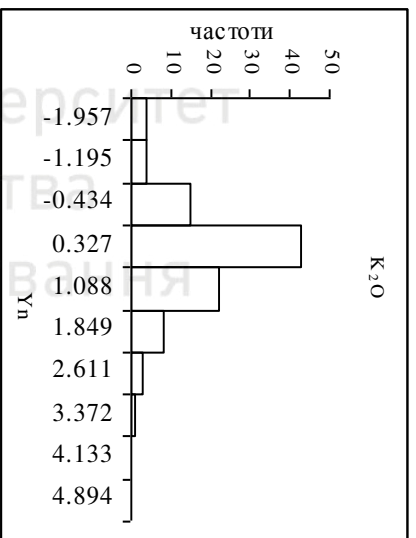
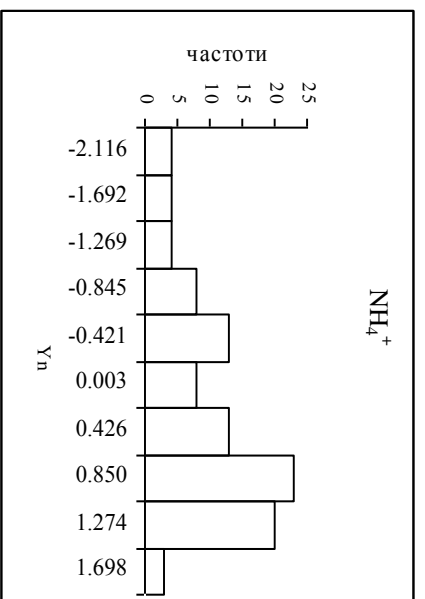
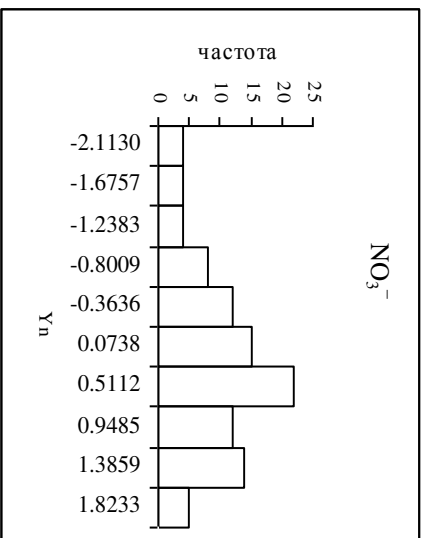


Рис. 3.1. Гістограми розподілів імовірностей нормованих Y<sub>n</sub> значень агрохімічних показників у дерново-підзолистих піщаних ґрунтах

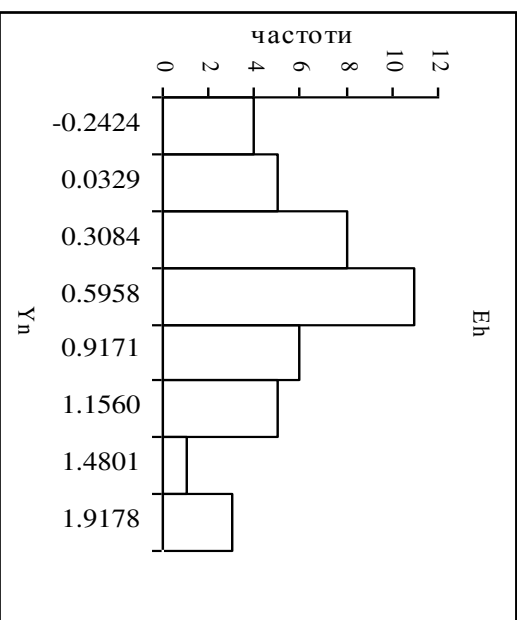
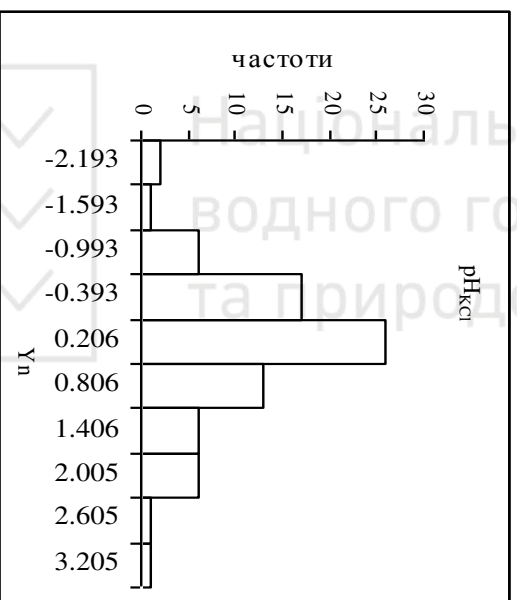
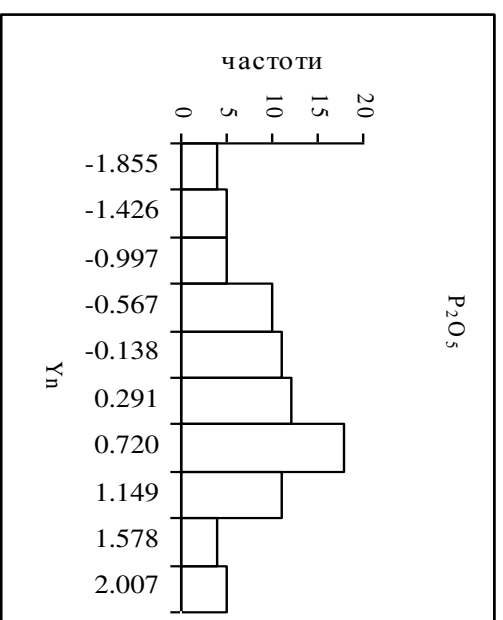
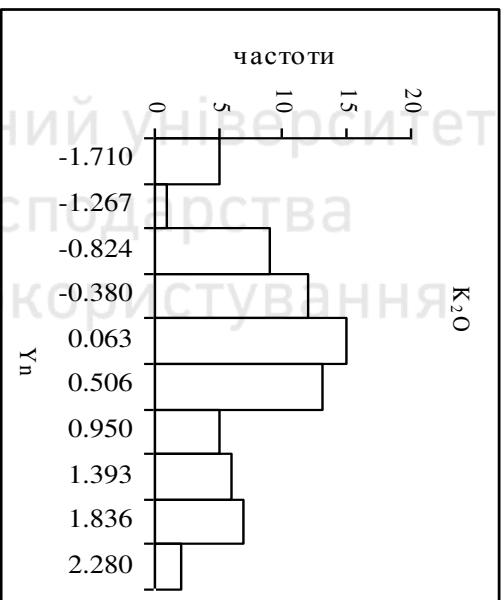
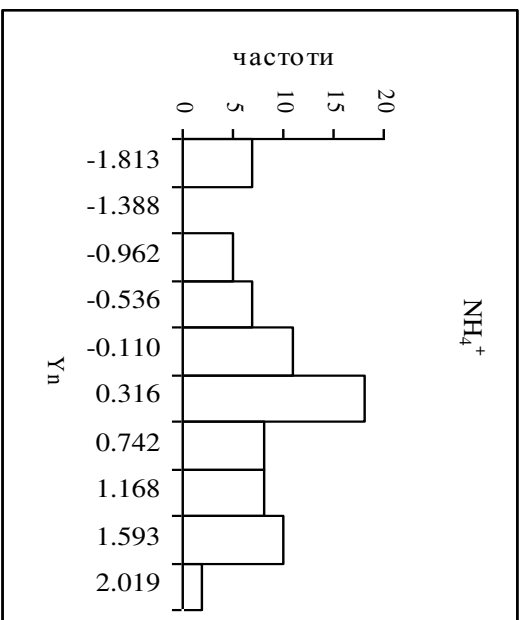
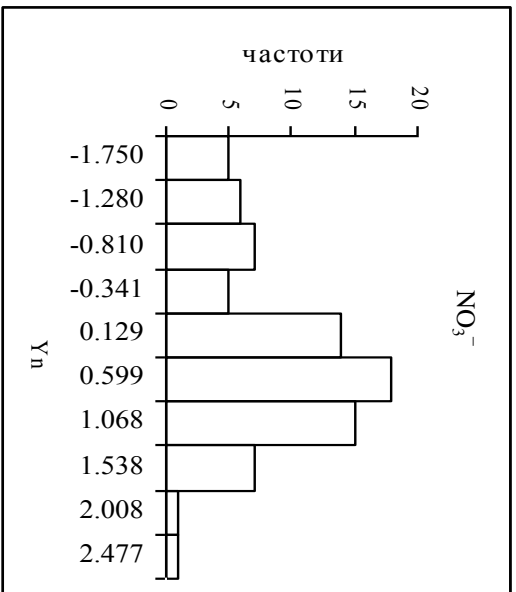


Рис. 3.2. Гістограми розподілів імовірностей нормованих  $Y_n$  значень агрохімічних показників торфопо-болотних ґрунтів



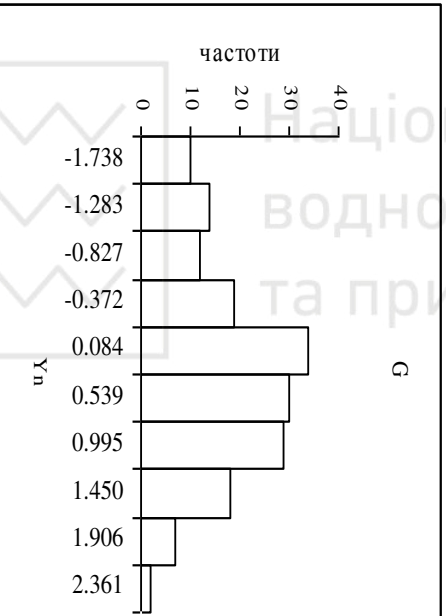
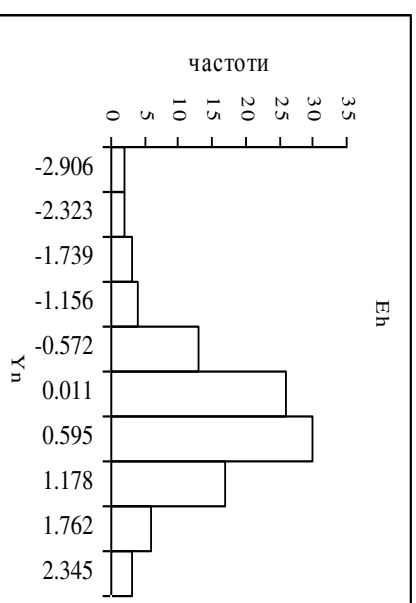
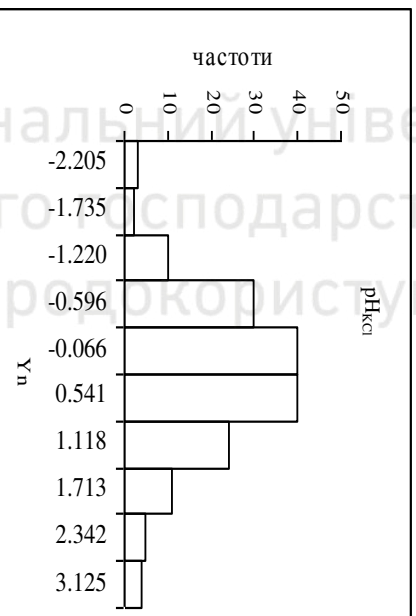
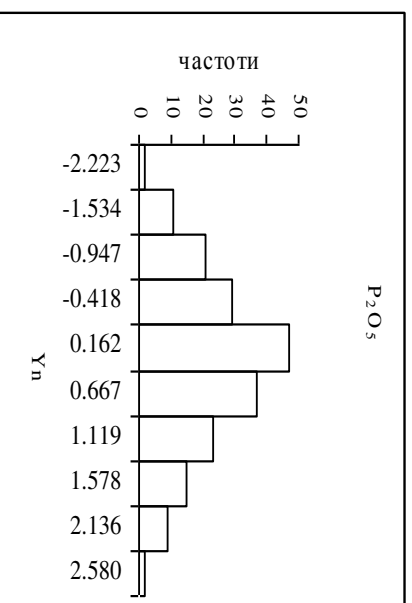
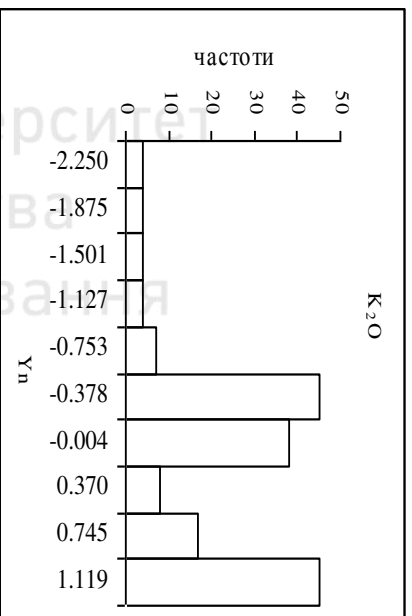
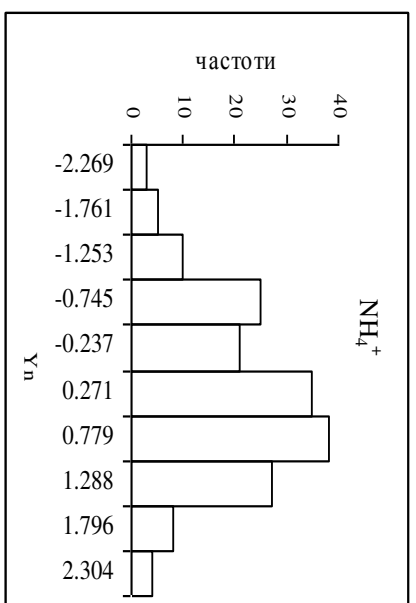
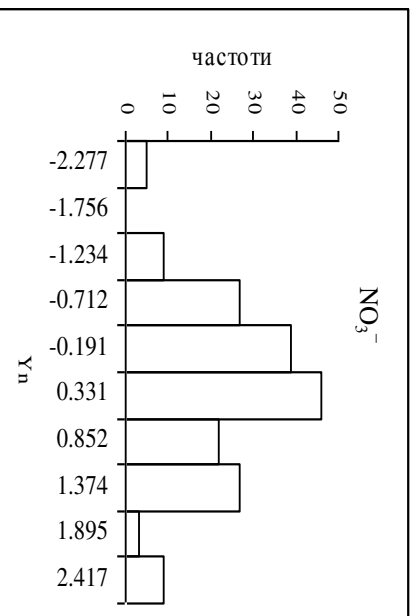


Рис. 3.3. Гістограми розподілів імовірностей нормованих  $Y_n$  значень агрохімічних показників у сірих лісових середньосуглинкових ґрунтах

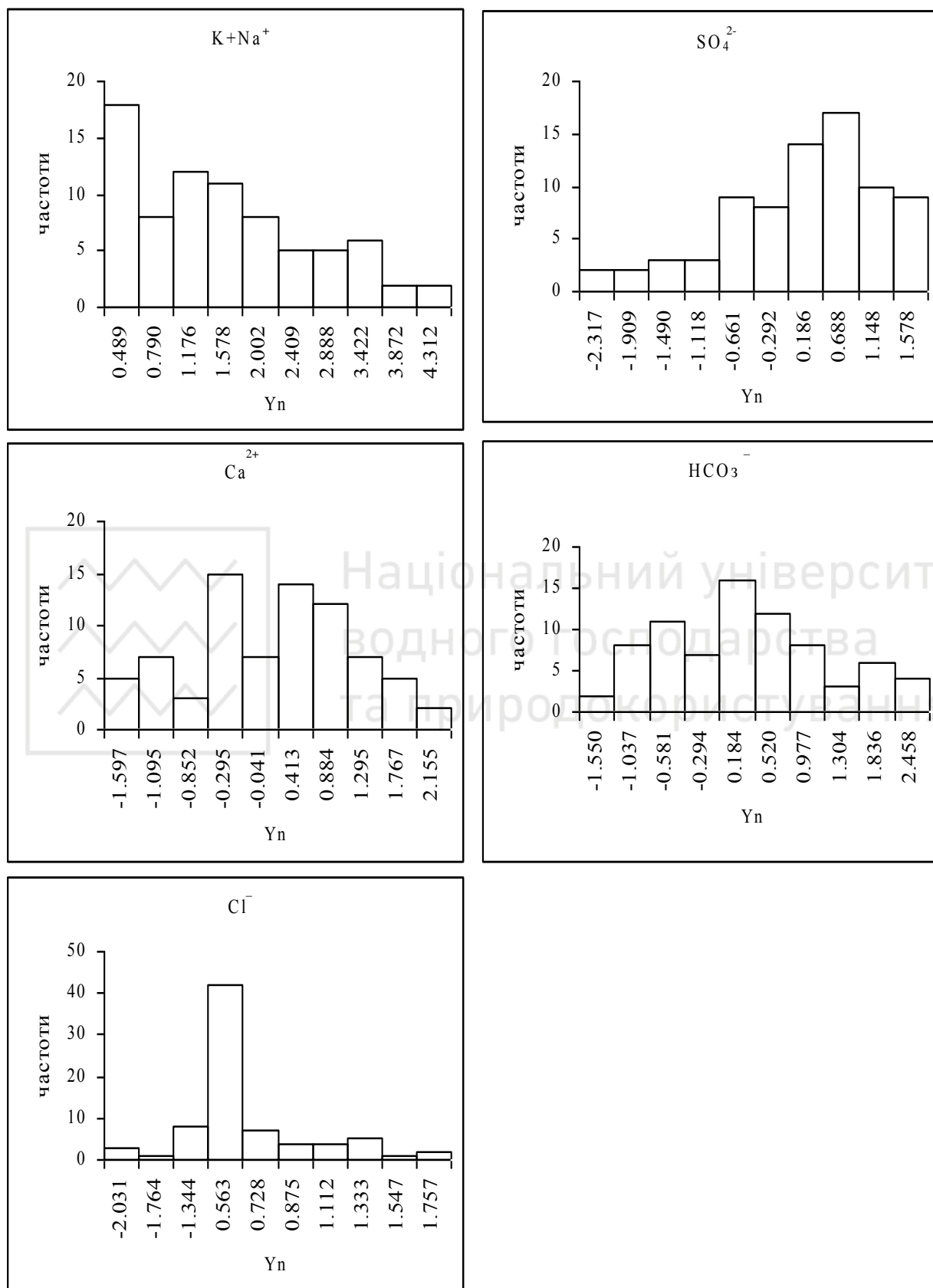


Рис. 3.4. Гістограми розподілів імовірностей нормованих  $Y_n$  значень концентрації іонів водної витяжки дерново-підзолистого піщаного ґрунту

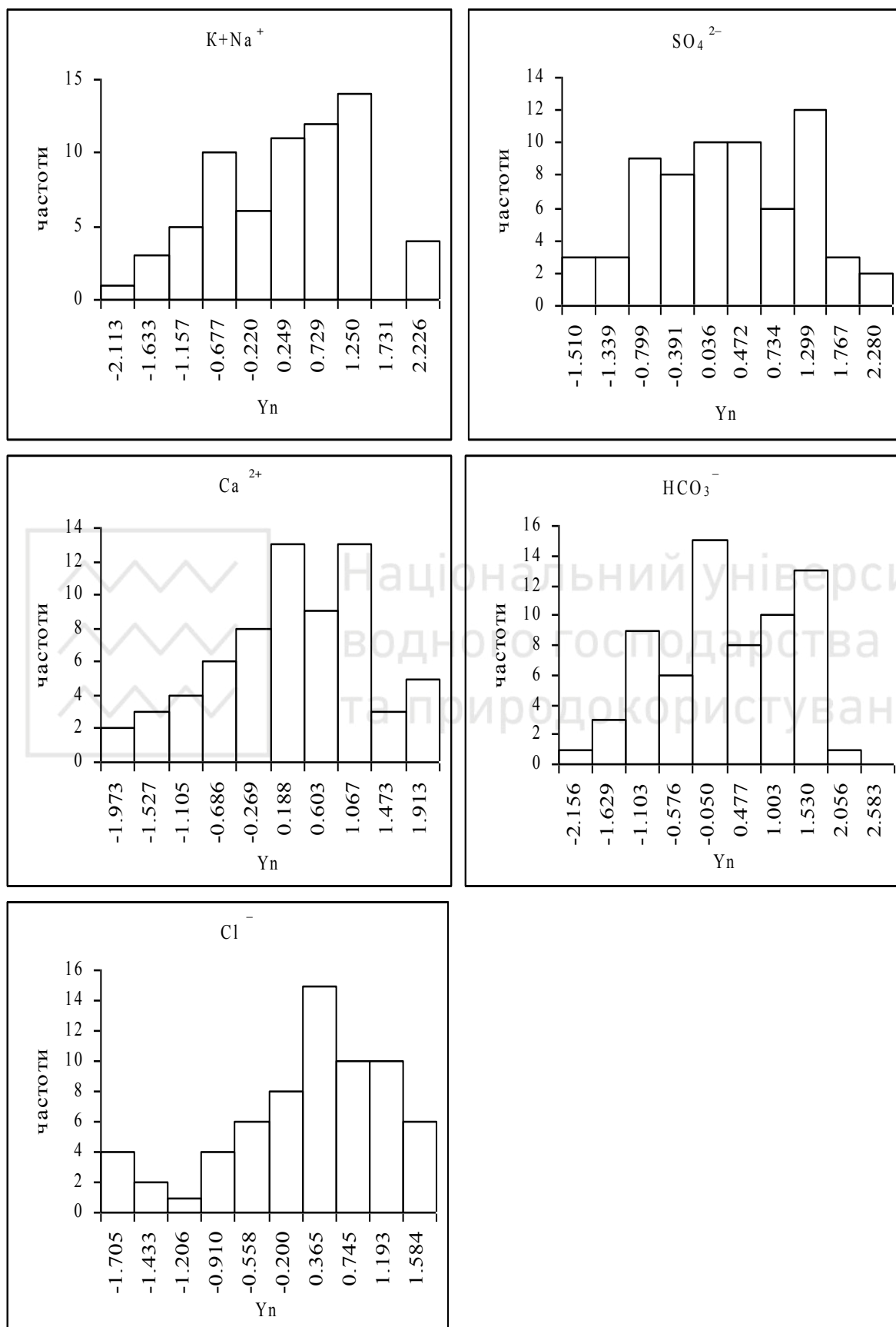


Рис. 3.5. Гістограми розподілів імовірностей нормованих  $Y_n$  значень концентрації іонів водної витяжки торфово-болотного ґрунту

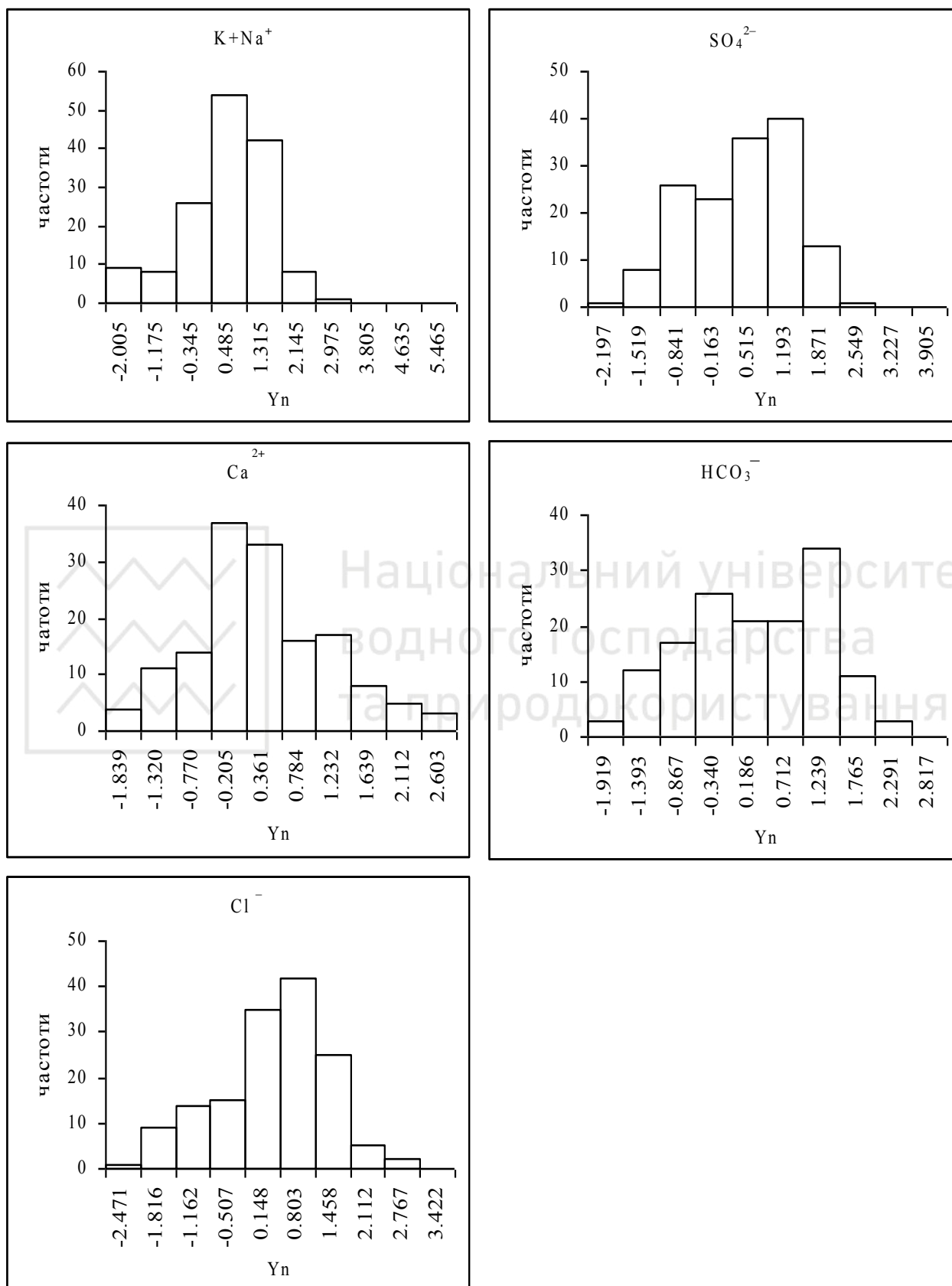


Рис. 3.6. Гістограми розподілів імовірностей нормованих  $Y_n$  значень концентрації іонів водної витяжки сірих лісових середньгосуглинкових ґрунтів



При цьому, оскільки обсяги вибірок ґрунтових показників становлять  $n \geq 50$  і кількість інтервалів (градацій) дорівнює 10, критерій  $\chi^2$  розраховуємо при числі ступенів вільності  $l = 10 - 2 - 1 = 7$ , оскільки порівнювані функції теоретичних розподілів (логнормального, нормального) є двохпараметричними [210].

Нами проведено розрахунки для всіх теоретичних функцій розподілу. Результати оцінки відповідності рядів концентрації іонів водної витяжки теоретичним функціям розподілу наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Оцінка відповідності рядів концентрації іонів водної витяжки теоретичним функціям розподілу за критерієм згоди  $\chi^2$

Ґрунтовий показник	Логнормальний розподіл		Нормальний розподіл		Експоненціальний розподіл	
	$\chi^2$	$P(\chi^2)$	$\chi^2$	$P(\chi^2)$	$\chi^2$	$P(\chi^2)$
Дерново-підзолисті піщані ґрунти						
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	5,31	0,72	18,97	0,02	61,08	2,86 <sup>-10</sup>
Cl <sup>-</sup>	4,64	0,80	24,93	0,001	111,59	1,8 <sup>-20</sup>
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	4,14	0,84	4,56	0,80	138,25	5,5 <sup>-26</sup>
Ca <sup>2+</sup>	1,27	0,995	1,57	0,99	58,29	1,01 <sup>-9</sup>
K+Na <sup>+</sup>	4,72	0,79	8,38	0,40	117,84	9,27 <sup>-22</sup>
Торфові, торфово-болотні, болотні ґрунти						
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	4,66	0,79	17,26	0,03	12,57	0,13
Cl <sup>-</sup>	3,15	0,92	11,22	0,19	10,52	0,23
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	3,37	0,91	79,19	7,1 <sup>-14</sup>	11,04	0,20
Ca <sup>2+</sup>	4,01	0,86	18,65	0,02	13,55	0,09
K+Na <sup>+</sup>	4,48	0,81	108,39	8,17 <sup>-20</sup>	8,65	0,37
Сірі лісові середньосуглинкові ґрунти						
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1,18	0,996	44,26	5,07 <sup>-7</sup>	49,47	5,17 <sup>-8</sup>
Cl <sup>-</sup>	6,75	0,56	24,19	0,002	25,50	0,001
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	10,36	0,24	29,22	0,0003	16,05	0,04
Ca <sup>2+</sup>	5,33	0,72	40,07	3,11 <sup>-6</sup>	38,11	7,18 <sup>-6</sup>
K+Na <sup>+</sup>	11,69	0,17	52,78	1,19 <sup>-8</sup>	17,25	0,03

Аналіз розподілу значень іонів ґрунтового розчину дерново-підзолистого піщаного ґрунту показав, що найбільші значення критерію згоди  $\chi^2$  спостеріга-



ються у випадку, коли порівнювали експериментальну криву розподілу із експоненціальною кривою розподілу. Ці значення відповідають дуже низьким величинам імовірності наближення  $P(\chi^2) \rightarrow 0$ , що свідчить про несумісність експоненціального закону розподілу з експериментальними даними. Найбільш відповідним за критерієм  $\chi^2$  для дерново-підзолистого піщаного ґрунту є логарифмічно нормальний тип розподілу, оскільки його імовірність наближення для різних іонів не була меншою, ніж  $P(\chi^2) > 0,70$ .

Так само для іонів ґрунтового розчину інших досліджуваних ґрунтів (торфово-болотних, сірих лісових середньосуглинкових) найближчим виявився логнормальний розподіл. Для нормального та експоненціального розподілів імовірність наближення прямує до нуля  $P(\chi^2) \rightarrow 0$ . Для іонів  $\text{SO}_4^{2-}$  та  $\text{K}+\text{Na}^+$  сірих лісових середньосуглинкових ґрунтів імовірність наближення логарифмічно-нормального розподілу невисока – відповідно  $P(\chi^2) = 0,24$  та  $P(\chi^2) = 0,17$ , однак є вищою ніж для інших розглянутих теоретичних розподілів.

Таким чином, просторово-часова динаміка концентрації іонів ґрунтового розчину найкраще описується логарифмічно-нормальним законом розподілу, оскільки, критерій згоди  $\chi^2$  для цього закону приймає найнижчі значення з достатньо високими величинами імовірності наближення.

Результати розрахунків критерію згоди  $\chi^2$  експериментальних та теоретичних розподілів агрохімічних показників осушуваних ґрунтів зведені в таблиці 3.2. Аналізуючи результати перевірки статистичних гіпотез за критерієм згоди  $\chi^2$  розподілу агрохімічних показників (див. табл. 3.2), робимо висновок: для агрохімічних показників найбільш близьким також є логарифмічно-нормальний розподіл. Виняток складає показник азоту амонійного ( $\text{NH}_4$ ) для дерново-підзолистого піщаного типу ґрунту, для якого найбільш відповідним виявився експоненціальний розподіл з імовірністю наближення  $P(\chi^2) = 0,96$  при критерії згоди  $\chi^2 = 2,34$ . У випадку дерново-підзолистих супіщаних ґрунтів з показни-



ком Eh критерій згоди  $\chi^2$  показує непридатність всіх трьох використаних розподілів. Слід зауважити, що така ситуація є відображенням природи даних показників, оскільки амонійний азот є надзвичайно лабільним компонентом, а окисно-відновний потенціал при його вимірюванні залежить від багатьох чинників і змінюється у широкому діапазоні.

Таблиця 3.2

Оцінка відповідності рядів агрохімічних показників теоретичним функціям розподілу за критерієм згоди  $\chi^2$

Ґрунтовий показник	Логнормальний розподіл		Нормальний розподіл		Експоненціальний розподіл	
	$\chi^2$	$P(\chi^2)$	$\chi^2$	$P(\chi^2)$	$\chi^2$	$P(\chi^2)$
Дерново-підзолисті піщані ґрунти						
NO <sub>3</sub>	7,18	0,52	55,92	2,92 <sup>-9</sup>	28,83	0,0003
NH <sub>4</sub>	13,09	0,38	8,75	0,36	2,34	0,97
K <sub>2</sub> O	3,00	0,93	832,07	2,5 <sup>-174</sup>	30,35	0,0003
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2,44	0,96	60,56	3,61 <sup>-10</sup>	69,65	5,77 <sup>-12</sup>
pH <sub>KCl</sub>	6,08	0,64	111,08	2,28 <sup>-20</sup>	74,53	6,13 <sup>-13</sup>
Eh	21,18	0,27	12,05	0,15	79,08	7,5 <sup>-14</sup>
G	3,59	0,89	82,30	1,68 <sup>-14</sup>	35,36	2,3 <sup>-5</sup>
Горфово-болотні, болотні ґрунти						
NO <sub>3</sub>	13,37	0,44	775,35	4,2 <sup>-162</sup>	17,85	0,02
NH <sub>4</sub>	16,21	0,48	10,09	0,26	70,78	3,44 <sup>-12</sup>
K <sub>2</sub> O	71,60	0,88	178,47	2,16 <sup>-34</sup>	90,34	3,97 <sup>-16</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3,54	0,90	41,28	1,85 <sup>-6</sup>	27,20	0,0006
pH <sub>KCl</sub>	17,93	0,33	14,23	0,08	152,12	7,08 <sup>-29</sup>
Eh	25,85	0,57	12,12	0,15	152,59	5,63 <sup>-29</sup>
Сірі лісові середньо суглинкові ґрунти						
NO <sub>3</sub>	40,88	0,56	137,68	7,19 <sup>-26</sup>	38,55	5,96 <sup>-6</sup>
NH <sub>4</sub>	30,98	0,67	7,73	0,46	14,93	0,06
K <sub>2</sub> O	6,51	0,60	418,31	2,26 <sup>-85</sup>	218,62	7,52 <sup>-43</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,48	0,99	120,78	2,29 <sup>-22</sup>	113,99	5,75 <sup>-21</sup>
pH <sub>KCl</sub>	25,93	0,38	95,36	3,77 <sup>-17</sup>	570,67	4,7 <sup>-118</sup>
Eh	10,30	0,63	66,58	2,35 <sup>-11</sup>	391,63	1,15 <sup>-79</sup>
G	10,77	0,51	34,71	3,02 <sup>-5</sup>	85,98	3,04 <sup>-15</sup>

Отже, як бачимо з проведених розрахунків, найкраще апроксимує значення концентрації солей та значення агрохімічних показників осушуваних ґрунтів



логарифмічно-нормальний закон розподілу, хоча задовільної апроксимації всіх досліджуваних показників зазначеним розподілом не досягнуто. Це пояснюється тим, що під дією великої кількості факторів виникають емпіричні розподіли, які при малому обсязі вибірки ( $n < 100$ ) не можуть бути апроксимовані ні нормальним, ні логнормальним законами.

### 3.2. Розрахунок параметрів розподілів ґрунтових показників та їхня оцінка

Для досліджуваних ґрунтових показників логарифмічно-нормальний розподіл відповідає такій статистичній моделі, в якій передбачається, що формування значень ґрунтових показників відбувається в результаті накладання великої кількості факторів, які впливають на ґрунтові процеси, жоден з яких не є переважаючим.

Для оцінки виявленого логарифмічно-нормального розподілу ґрунтових показників визначимо ряд числових характеристик [15,17,18,111,112,120,121]: середнє значення  $\bar{x}$ , дисперсію  $D(x)$ , середньоквадратичне відхилення  $\sigma_x$ , коефіцієнт варіації  $C_v$ . Зазначені характеристики в стислій формі відображують найбільш суттєві особливості логарифмічно-нормального розподілу.

Середнє арифметичне  $\bar{x}$  варіант виступає у формі найкращого наближення до істинного значення досліджуваних показників за спостережуваний проміжок часу і обчислюється за формулою:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (3.4)$$

де  $x_i$  – значення ґрунтового показника;  $n$  – кількість спостережень.

Для більш повної характеристики варіаційних рядів та закону розподілу, нами було використано також статистичні показники, які характеризують вели-





чину відхилень варіант від середнього значення:

– дисперсію

$$D(x) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}, \quad (3.5)$$

– середньоквадратичне відхилення

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}, \quad (3.6)$$

– коефіцієнт варіації

$$C_v = \frac{\sigma_x}{\bar{x}} \cdot 100\%, \quad (3.7)$$

Результати розрахунків для агрохімічних показників наведені в таблиці 3.3.

Кількісні показники емпіричних розподілів агрохімічних показників осушуваних ґрунтів засвідчують високий ступінь їх мінливості в часі та просторі. Вміст азоту, рухомого фосфору та калію, органічної речовини за всіма ґрунтовими відмінами мають варіацію більше 70 %. Незначною є варіація величини рН<sub>KCl</sub> для сірих лісових середньосуглинкових ґрунтів, для яких коефіцієнт варіації становить лише  $C_v=9\%$ . Величини рН<sub>KCl</sub>, Eh у інших ґрунтових відмінах характеризується середньою мінливістю – коефіцієнт варіації  $C_v$  змінюється від 10 % до 20 % [61].

Чітке уявлення про ширину ряду спостережень та його розсіювання дає дисперсія  $D(x)$  та стандартне відхилення  $\sigma_x$  величин агрохімічних показників. За їх допомогою можемо визначити найбільш імовірну середню похибку окремого, одиничного спостереження, взятого з даної сукупності та визначити довірчі інтервали величин агрохімічних показників.



Таблиця 3.3

Зведена таблиця числових характеристик  
емпіричного розподілу агрохімічних показників

Числові характеристики	Агрохімічні показники						
	NO <sub>3</sub> , мг/кг	NH <sub>4</sub> , мг/кг	K <sub>2</sub> O, мг/кг	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг	pH <sub>KCl</sub>	Eh, мВ	G, %
1	2	3	4	5	6	7	8
Дерново-підзолисті піщані ґрунти							
<i>n</i>	103	105	100	109	111	65	109
$\bar{x}$	11,24	5,90	24,53	102,98	5,60	482,34	3,44
<i>C<sub>v</sub></i> , %	145	93	186	96	18	19	78
<i>D(x)</i>	264,01	30,22	2080,09	9707,72	1,05	8692,88	7,18
$\sigma_x$	16,25	5,50	45,61	98,53	1,03	93,24	2,68
2 $\sigma_x$ (95,46 %)	32,5	11	91,22	197,1	2,06	186,5	5,36
3 $\sigma_x$ (99,73 %)	48,75	33	136,83	295,59	3,09	279,72	8,04
Торфові, торфово-болотні ґрунти							
<i>n</i>	83	81	75	85	87	61	–
$\bar{x}$	77,53	47,35	102,67	274,39	6,22	466,95	–
<i>C<sub>v</sub></i> , %	186	88	149	100	23	21	–
<i>D(x)</i>	20836,13	1741,50	23403,47	74076,95	2,01	9253,71	–
$\sigma_x$	144,35	41,73	152,98	275,23	1,42	96,20	–
2 $\sigma_x$ (95,46 %)	288,7	83,46	305,96	550,46	2,84	192,4	–
3 $\sigma_x$ (99,73 %)	433,05	125,19	458,94	825,69	4,26	288,6	–
Сірі лісові середньо суглинкові ґрунти							
<i>n</i>	193	191	176	196	193	117	175
$\bar{x}$	12,84	10,63	48,38	96,32	7,30	430,24	6,53
<i>C<sub>v</sub></i> , %	142	161	161	127	9	15	71
<i>D(x)</i>	331,57	292,92	6091,68	14875,45	0,43	3965,60	21,73
$\sigma_x$	18,21	17,11	78,05	121,96	0,65	62,97	4,66
2 $\sigma_x$ (95,46 %)	36,42	34,22	156,1	243,92	1,3	125,94	9,32
3 $\sigma_x$ (99,73 %)	54,63	51,33	234,15	365,88	1,95	188,91	13,98

Так розрахунок довірчих інтервалів ( $\bar{x} \pm \sigma_x; \bar{x} \pm 2\sigma_x; \bar{x} \pm 3\sigma_x$ ) показав, що основне ядро (приблизно 68,3 %) значень вмісту азоту нітратного для дерново-підзолистого піщаного ґрунту знаходиться в межах (0 ÷ 27,49) мг/кг, для торфово-болотного – (0 ÷ 221,88) мг/кг ґрунту, для сірого лісового середньосуглинкового – (0 ÷ 31,05) мг/кг ґрунту. Довірчий інтервал, в межах якого розташо-



вуються 99,76 % значень азоту нітратного у дерново-підзолистому піщаному ґрунті, становить (0 ÷ 59,99) мг/кг; азоту нітратного торфово-болотного ґрунту – (0 ÷ 510,58) мг/кг; азоту нітратного у сірих лісових середньосуглинкових – (0 ÷ 67,47) мг/кг. Гранична похибка кожного окремого спостереження дорівнює потрійному значенню стандартного відхилення і становить  $\pm 3\sigma_x = 48,75$  мг/кг для дерново-підзолистого піщаного ґрунту,  $\pm 3\sigma_x = 433,05$  мг/кг для торфово-болотного ґрунту,  $\pm 3\sigma_x = 54,63$  мг/кг для сірого лісового середньосуглинкового ґрунту.

Довірчий інтервал в межі якого потрапило близько 2/3 всіх спостережуваних значень азоту амонійного становить (0,4 ÷ 11,4) мг/кг для дерново-підзолистого піщаного ґрунту; (5,62 ÷ 89,08) мг/кг для торфово-болотного ґрунту; (0 ÷ 27,74) мг/кг для сірого лісового середньосуглинкового ґрунту. Близько 99 % значень вмісту азоту амонійного розташовано в інтервалі (0 ÷ 22,4) мг/кг для дерново-підзолистого ґрунту з граничною похибкою  $\pm 3\sigma_x = 16,5$  мг/кг, для торфово-болотного (0 ÷ 172,54) мг/кг з граничною похибкою  $\pm 3\sigma_x = 125,19$  мг/кг, сірого лісового ґрунту (0 ÷ 61,96) мг/кг з граничною похибкою  $\pm 3\sigma_x = 51,33$  мг/кг.

Основна область (68 %) значень рухомого калію в осушуваних ґрунтах знаходиться в межах: (0 ÷ 70,14) мг/кг для дерново-підзолистого піщаного ґрунту; (0 ÷ 255,65) мг/кг для торфово-болотного ґрунту; (0 ÷ 126,43) мг/кг для сірого лісового ґрунту. Майже всі значення (99 %) рухомого калію в осушуваних дерново-підзолистих піщаних ґрунтах розташовані в діапазоні (0 ÷ 161,36) мг/кг; торфово-болотних – (0 ÷ 561,61) мг/кг; сірих лісових середньосуглинкових – (0 ÷ 282,53) мг/кг. Гранична похибка окремого значення рухомого калію в дерново-підзолистому піщаному ґрунті становить  $\pm 3\sigma_x = 136,83$  мг/кг, торфово-болотному  $\pm 3\sigma_x = 458,94$  мг/кг, сірому лісовому середньосуглинковому ґрунті -  $\pm 3\sigma_x = 234,15$  мг/кг.

Основна кількість значень доступного фосфору у досліджуваних ґрунтах розташована в діапазоні  $\pm 1\sigma_x$ , який для дерново-підзолистих піщаних ґрунтів



становить (4,45÷202) мг/кг; для торфово-болотних (0÷550) мг/кг; для сірих лісових середньосуглинкових (0÷218) мг/кг. Область коливань всіх значень (99%) доступного фосфору лежить на проміжку (0÷399) мг/кг для дерново-підзолистих піщаних ґрунтів; (0÷1100) мг/кг для торфово-болотних ґрунтів; (0÷462) мг/кг для сірих лісових середньосуглинкових ґрунтів. Гранична похибка спостережень за вмістом доступного фосфору у дерново-підзолистому піщаному ґрунті становить  $\pm 3\sigma_x = 295$  мг/кг, торфово-болотному -  $\pm 3\sigma_x = 826$  мг/кг, сірому лісовому середньосуглинковому ґрунті -  $\pm 3\sigma_x = 365,88$  мг/кг.

Для величин  $pH_{KCl}$  99 % всіх спостережуваних значень знаходяться в інтервалі (2,51÷8,69) для дерново-підзолистих піщаних ґрунтів; (1,96÷10,48) для торфово-болотних ґрунтів; (5,35÷9,25) для сірих лісових ґрунтів.

Для величин  $E_h$  99-відсотковий довірчий інтервал різних ґрунтових відмін становив: дерново-підзолисті піщані ґрунти – (202,62÷762,06) мВ з граничною похибкою  $\pm 3\sigma_x = 279,72$  мВ; торфово-болотні ґрунти – (178,35÷755,55) мВ з граничною похибкою  $\pm 3\sigma_x = 288,6$  мВ; сірі лісові середньо суглинкові ґрунти – (241,33÷619,15) мВ з граничною похибкою  $\pm 3\sigma_x = 188,91$  мВ.

При  $P=99,76$  % вміст органічної речовини коливається в межах (0÷11,48) % з граничною похибкою  $\pm 3\sigma_x = 8,04$  % для дерново-підзолистих піщаних ґрунтів; (0÷20,51) % з граничною похибкою  $\pm 3\sigma_x = 13,98$  % для сірих лісових ґрунтів.

Статистичний аналіз числових характеристик значень концентрації іонів ґрунтового розчину (табл. 3.4) показав, що найбільшого розмаху варіація набуває для іонів  $K^+ + Na^+$  та  $SO_4^{2-}$ . Підтвердженням цьому є коефіцієнт варіації  $C_v$ , який не залежить від середнього значення і який використовується для оцінки мінливості ґрунтових процесів. Як показують розрахунки, значення коефіцієнта варіації  $C_v$  іонів  $K^+ + Na^+$  змінюється в межах від 80 % для дерново-підзолистого піщаного ґрунту до 125 % для дерново-підзолистого супіщаного ґрунту. Для іонів  $SO_4^{2-}$  спостерігається варіація від 87 % для дерново-підзолистого піщаного ґрунту до 152 % для торфово-болотного ґрунту. Найбі-



льшого розмаху досягає варіація  $\text{HCO}_3^-$  для дерново-підзолистого супіщаного ґрунту  $C_v=160\%$ . Дисперсія для всіх інших іонів ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) ґрунтового розчину досліджуваних ґрунтів також засвідчує суттєву варіацію їхніх значень.

Таблиця 3.4

Зведена таблиця числових характеристик  
емпіричного розподілу іонів водної витяжки

Числові Характеристики	Катіони, мг-екв/100 гр		Аніони, мг-екв/100 гр		
	$\text{K}+\text{Na}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{HCO}_3^-$
Дерново-підзолисті піщані ґрунти					
$n$	77	77	77	77	
$\bar{x}$	1,32	0,47	0,53	1,11	0,18
$C_v, \%$	80	66	72	87	76
$D(x)$	1,13	0,1	0,14	0,94	0,02
$\sigma_x$	1,06	0,31	0,38	0,97	0,13
$2\sigma_x$ (95,46 %)	2,12	0,62	0,76	1,94	0,26
$3\sigma_x$ (99,73 %)	3,18	0,93	1,14	2,91	0,39
Торфові, торфOVO-болотні ґрунти					
$n$	65	65	65	65	65
$\bar{x}$	2,88	2,79	2,49	1,83	1,57
$C_v, \%$	85	57	69	152	73
$D(x)$	6,07	2,58	3,09	7,75	1,32
$\sigma_x$	2,46	1,60	1,73	2,78	1,15
$2\sigma_x$ (95,46 %)	4,92	3,2	3,46	5,56	2,3
$3\sigma_x$ (99,73 %)	7,38	4,8	5,19	8,34	3,45
Сірі лісові середньо суглинкові ґрунти					
$n$	148	148	148	148	148
$\bar{x}$	1,60	1,15	1,08	1,15	0,54
$C_v, \%$	97	103	120	99,6	105
$D(x)$	2,39	1,40	1,69	1,32	0,32
$\sigma_x$	1,54	1,18	1,3	1,15	0,57
$2\sigma_x$ (95,46 %)	3,08	2,36	2,6	2,3	1,14
$3\sigma_x$ (99,73 %)	4,62	3,54	3,9	3,45	1,71

Розрахунки подвійних та потрійних стандартних відхилень  $\sigma_x$ , розмірність яких співпадає з розмірністю випадкової величини, для значень іонів водної витяжки показали, що основне ядро (68,3 %) спостережуваних значень знаходиться в інтервалі  $(\bar{x} - \sigma_x; \bar{x} + \sigma_x)$ , а саме: іонів  $\text{K}^+\text{Na}^+$  у дерново-підзолистому пі-



щаному ґрунті – в інтервалі  $(0,26 \div 2,38)$  мг-екв/100 г ґрунту;  $(0,42 \div 5,34)$  мг-екв/100 г у торфово-болотному ґрунті;  $(0,06 \div 3,14)$  мг-екв/100 г у сірому лісовому середньосуглинковому ґрунті. Близько 99 % всіх значень концентрації іонів водної витяжки знаходиться в межах  $(0 \div 4,5)$  мг-екв/100 г для дерново-підзолистого піщаного ґрунту;  $(0 \div 10,26)$  мг-екв/100г для торфово-болотного ґрунту;  $(0 \div 6,22)$  мг-екв/100 г для сірого лісового середньосуглинкового ґрунту. Гранична похибка окремого спостереження становить:  $\pm 3\sigma_x = 3,18$  мг-екв/100 г для дерново-підзолистого піщаного ґрунту;  $\pm 3\sigma_x = 7,38$  мг-екв/100 г для торфово-болотного ґрунту;  $\pm 3\sigma_x = 4,62$  мг-екв/100 г для сірого-лісового середньосуглинкового ґрунту. Основна кількість всіх концентрацій іонів  $\text{Ca}^{2+}$  знаходиться в інтервалі:  $(0,16 \div 0,78)$  мг-екв/100 г ґрунту для дерново-підзолистого піщаного ґрунту;  $(1,19 \div 4,39)$  мг-екв/100 г для торфово-болотного ґрунту;  $(0 \div 2,33)$  мг-екв/100 г для сірого лісового середньосуглинкового ґрунту. Близько 99 % всіх концентрацій іонів знаходиться в межах  $(0 \div 1,4)$  мг-екв/100 г для дерново-підзолистого піщаного ґрунту;  $(0 \div 7,59)$  мг-екв/100 г для торфово-болотного ґрунту;  $(0 \div 4,69)$  мг-екв/100 г для сірого лісового середньосуглинкового ґрунту. Гранична похибка окремого спостереження становить  $\pm 3\sigma_x = 0,93$  мг-екв/100 г для дерново-підзолистого піщаного ґрунту;  $\pm 3\sigma_x = 4,8$  мг-екв/100 г для торфово-болотного ґрунту;  $\pm 3\sigma_x = 3,54$  мг-екв/100 г для сірого-лісового середньосуглинкового ґрунту. Приблизно 68 % всіх концентрацій іонів  $\text{Cl}^-$  знаходиться в інтервалі:  $(0,15 \div 0,91)$  мг-екв/100 г ґрунту для дерново-підзолистого піщаного ґрунту;  $(0,76 \div 4,22)$  мг-екв/100 г для торфово-болотного ґрунту;  $(0 \div 2,38)$  мг-екв/100 г для сірого лісового середньосуглинкового ґрунту. Близько 99 % всіх концентрацій іонів знаходиться в межах:  $(0 \div 1,67)$  мг-екв/100 г для дерново-підзолистого піщаного ґрунту;  $(0 \div 7,68)$  мг-екв/100 г для торфово-болотного ґрунту;  $(0 \div 4,98)$  мг-екв/100 г для сірого лісового середньосуглинкового ґрунту. Гранична похибка окремого спостереження становить:  $\pm 3\sigma_x = 1,14$  мг-екв/100 г



для дерново-підзолистого піщаного ґрунту;  $\pm 3\sigma_x = 5,19$  мг-екв/100 г для торфво-болотного ґрунту;  $\pm 3\sigma_x = 3,9$  мг-екв/100 г для сірого-лісового середньосуглинкового ґрунту.

Щодо вмісту іонів сульфатів  $\text{SO}_4^{2-}$  та гідрокарбонатів  $\text{HCO}_3^-$ , то отримані довірчі межі є наступними: для дерново-підзолистого піщаного ґрунту (0,14÷2,08) мг-екв/100 г та (0,05÷0,31) мг-екв/100 г; для торфво-болотного ґрунту (0÷4,61) мг-екв/100 г та (0,42÷2,72) мг-екв/100 г; для сірого лісового ґрунту – (0÷2,3) мг-екв/100 г та (0÷1,11) мг-екв/100 г відповідно. Довірчі інтервали при  $P=99$  % для зазначених іонів водної витяжки є наступними. Для сульфат-іону у водній витяжці дерново-підзолистого піщаного ґрунту довірчий інтервал становить (0 ÷ 4,02) мг-екв/100 г, для гідрокарбонат-іону – (0÷0,57) мг-екв/100 г; для сульфат-іону торфво-болотного ґрунту довірчий інтервал становить (0÷10,17) мг-екв/100 г, для гідрокарбонат іону – (0÷5,02) мг-екв/100 г; для сульфат-іону сірого лісового середньосуглинкового ґрунту довірчий інтервал становить (0÷4,6) мг-екв/100 г, для гідрокарбонат іону – (0÷2,25) мг-екв/100 г. Гранична похибка окремого спостереження, яка дорівнює потрійному значенню стандартного відхилення, наведена у табл. 3.4.

Протягом досліджуваного періоду (1988-2002 роки) спостерігався високий ступінь розсіювання та значна мінливість вмісту агрохімічних показників та концентрації іонів водної витяжки осушуваних ґрунтів. Підтвердженням цьому є розраховані коефіцієнти варіації  $C_v$ , дисперсія  $D(x)$  та середньоквадратичне відхилення  $\sigma_x$  досліджуваних ґрунтових показників. За весь період спостережень низький ступінь мінливості є характерним лише для показників  $\text{pH}_{\text{КСІ}}$  та  $E_h$  ( $C_v < 20$  %). На основі стандартного відхилення було розраховано довірчі інтервали  $(\bar{x} \pm \sigma_x; \bar{x} \pm 2\sigma_x; \bar{x} \pm 3\sigma_x)$  при  $P=68,3$  %; 95,45 %; 99,73 %. Як показують результати розрахунків, ширина довірчих інтервалів є суттєвою. Це зумовлено, насамперед, значною просторово-часовою варіацією величин досліджуваних ґрунтових показників та високими стандартними відхиленнями. Відмі-



чаються і значні граничні похибки окремого одиничного спостереження, які дорівнюють потрійному значенню стандартного відхилення  $\pm 3\sigma_x$ .

Таким чином, при дослідженні імовірнісних розподілів значень ґрунтових показників ми виявили високий ступінь розсіювання значень більшості досліджуваних ґрунтових показників, який зумовлений, перш за все, складним сукупним впливом мінливих у просторі і часі природних та антропогенних факторів. Однак, нами виявлено підпорядкованість значень ґрунтових показників встановленим раніше імовірнісним законам розподілу.

Висока імовірність підпорядкування значень досліджуваних показників логарифмічно-нормальному розподілу, результати аналізу числових характеристик емпіричних розподілів та показників варіації, підтверджують гіпотезу про можливість застосування математико-статистичних методів для побудови адекватних реальним просторово-часовим закономірностям емпіричних моделей відтворення даних моніторингу осушуваних ґрунтів.

## Висновки до розділу

1. Моделювання значень ґрунтових показників осушуваних земель спирається на фактичний матеріал, отриманий в результаті проведення моніторингових спостережень. Значення ґрунтових показників є величинами випадковими, які формуються під дією великої кількості природних та антропогенних факторів, що обумовлюють розподіли ґрунтових показників в часі та просторі.

2. Значення вмісту іонів водної витяжки та агрохімічних показників осушуваних ґрунтів з високою імовірністю підпорядковуються логарифмічно-нормальному закону розподілу. Порівнюючи величини критерію згоди  $\chi^2$ , розраховані для різних теоретичних розподілів, можна зробити наступний висновок: рядам значень концентрації іонів ґрунтового розчину та агрохімічних показників найкраще відповідає логарифмічно-нормальний закон розподілу, оскільки критерій згоди  $\chi^2$  з трьох порівнюваних теоретичних розподілів найменші





значення має саме при логнормальному розподілі з достатньо високими величинами імовірності наближення  $P(\chi^2) > 0,70$  та  $P(\chi^2) > 0,50$ .

3. Числові характеристики експериментальних розподілів значень ґрунтових показників – коефіцієнт варіації  $C_v$  та дисперсія  $D(x)$  вказують на їхню високу варіацію, що повністю відповідає природі ґрунтових процесів, які безпосередньо залежать від динамічних місцевих, сезонних, багаторічних тощо чинників, процесів і явищ, а також різноманітного сільськогосподарського використання.

4. На підставі статистичного аналізу наявних рядів моніторингових спостережень є всі підстави стверджувати, що для осушуваних ґрунтів південно-західного Полісся та північно-західного Лісостепу України не виявлено чітких територіальних закономірностей у формуванні законів розподілу імовірностей для жодного з досліджуваних ґрунтових показників. Цей факт дає можливість розглядати будь-який моніторинговий полігон (ґрунтовий стаціонар), як базовий для отримання інформації про стан досліджуваних типів ґрунтів відповідного гранулометричного складу.

5. Підпорядкованість розподілу ґрунтових показників логнормальному закону створює реальні умови для емпіричного моделювання ґрунтових процесів осушуваних земель та просторової екстраполяції даних спостережень, а отже і для відтворення моніторингової інформації на значних за площею неконтрольованих меліорованих територіях.



## 4. ЕМПІРИЧНІ МОДЕЛІ ВІДТВОРЕННЯ ДАНИХ МОНІТОРИНГУ ҐРУНТОВОГО ПОКРИВУ ОСУШУВАНИХ ЗЕМЕЛЬ



### 4.1. Кореляційні зв'язки між даними, отриманими на різних стаціо- нарах, та побудова регресійних емпіричних моделей

Сучасна методологія моделювання агро меліоративного стану осушуваних земель базується на засадах тієї науково-методичної бази, яка була закладена тривалими і змістовними дослідженнями у галузях сільськогосподарських меліорацій, моніторингу ґрунтів та еколого-меліоративного моніторингу. Принципові підходи до вирішення його проблем розвинені Алексєєвським В.Є., Балуком С.А., Вознюком С.Т., Герасимовим І.П., Зайдельманом Ф.Р., Израєлем Ю.А., Клименком М.О., Масловим Б.С., Меєровським А.С., Мотузовою Г.В., Мошинським В.С. та ін. [4,6-9,11-13,28,76,98,116-118,129,134,151,168,208,242, 251,260]. Серед робіт, присвячених створенню методів досліджень на меліорованих землях та методів прогнозування їх еколого-меліоративного стану, необхідно виділити роботи з організації та ведення еколого-меліоративного моніто-



рингу Алексєєвського В.Є., Коваленка П.І., Козловського Б.І., Ромащенко М.І., Цвєтової О.В., та ін. [124,127,136,140,165,179,249,254], роботи з розробки критеріїв оцінки еколого-меліоративного стану осушуваних земель Кубишкіна В.П., Мошинського В.С., Насєдкіна І.Ю., Цвєтової О.В., Шевченка А.М. та ін. [5,29,134,232], з оцінки ефективності роботи закритого дренажу та оцінці меліоративного стану осушувальних систем за термінами відведення надлишкових вод у вегетаційний період Маслова Б.С., Мінаєва В.І., Рябцевої Г.П. та ін. [116,126], а також роботи з оцінки меліоративного стану осушувальних систем в залежності від глибини залягання рівня ґрунтових вод та термінів відведення надлишкових вод у вегетаційний період, встановлення оптимальних значень показників режиму вологості ґрунтів Айдарова І.П., Скрипника О.В., Шебеко В.Ф. та ін. [22,24,225,247,252], екологічної оцінки зміни реакції ґрунтів осушуваних земель, обґрунтування показників оцінки екологічного стану на осушуваних землях за станом ґрунтового покриву [43-45,86,88,142], оцінки екологічної ситуації за ступенем прояву окремих процесів на осушуваних землях та прилеглих до них територіях [23,30], оцінки РГВ на осушуваних та прилеглих до осушуваних земель територіях [10,13,25,26,152], розробки показників оцінки екологічної обстановки за гідрохімічним режимом на осушуваних землях України [208,233,234], первинній обробці, підготовці моніторингової інформації та створенню баз даних тощо.

Сьогодні еколого-меліоративного моніторингу, окрім значних досягнень в даній галузі, висуває ще й цілу низку актуальних проблем, вирішення яких потребує запровадження нових концепцій і наукових принципів [29,52,55, 67,78,110,122,140,168,232]. Так невирішеними залишаються, серед інших, завдання поширення даних моніторингових спостережень на неконтрольовані ділянки осушуваних та прилеглих до них земель, тобто проблеми відтворення моніторингової інформації. Такі наукові задачі можна вирішити з достатнім рівнем точності та ефективності лише на основі застосування нових наукових



принципів обробки даних, побудованих на основі застосування специфічних математичних моделей.

Метою наших досліджень у рамках поставленої проблеми була побудова емпіричних моделей відтворення значень показників, що контролюються на ґрунтових стаціонарах (полігонах) системи еколого-меліоративного моніторингу Держводгоспу України та на окремих пунктах мережі. При розробці даних питань перед нами стояли невирішені завдання та проблеми оцінки стану осушуваних ґрунтів на моніторингових стаціонарах та просторової екстраполяції змінних та їхніх оцінок на інші точки осушуваних земель, проблеми визначення кількісних та якісних екологічних показників стану ґрунтового покриву, врахування інтенсивності постійно діючих факторів і процесів, підготовка інформації та формування баз даних моніторингу, кожна з яких має комплексне наукове та прикладне значення.

Проведення досліджень з вибору найбільш прийняттого підходу до розробки методів визначення виду і параметрів емпіричних моделей розрахунку значень ґрунтових показників на основі стандартної бази моніторингових спостережень, екстраполяції даних еколого-меліоративного моніторингу, створили передумови для побудови цих моделей на основі статистичних підходів та методів. При цьому важливо те, що створювані емпіричні моделі мають бути побудовані на основі найбільш репрезентативних змінних, якими є базові ґрунтові показники, динаміка яких, у свою чергу, описана достовірними часовими рядами достатньої довжини.

Беручи до уваги той факт, що найбільш характерним для моніторингових даних виявився логарифмічно нормальний закон розподілу [210,211], який враховує формування значень ґрунтових показників під дією великої кількості різнорідних факторів, в основу емпіричних моделей можемо покласти класичні статистичні (кореляційні та регресійні) методи опису зв'язків між факторіальними та функціональними складовими моделі [54,128,158,169].

Процес дослідження взаємозв'язків між ґрунтовими показниками у моде-



льованій емпіричній системі проводився у два етапи:

1) Визначення ступеню статистичного зв'язку досліджуваних динамічних ґрунтових явищ в різних просторово відмінних пунктах осушуваної території, або міри впливу головних факторів на ґрунт (явище) [50,135], за умови, що ці зв'язки носять системний причинно-наслідковий характер.

2) Виявлення на основі аналізу динамічного ряду закономірностей зміни значень деякого ґрунтового показника в деякому пункті (функція  $Y$ ) в залежності від зміни значень цього ж показника (або декількох показників) в інших контрольованих пунктах у межах осушуваних земель (вибір одного або декількох головних аргументів). Це завдання коротко формулюється як завдання визначення форми зв'язку між двома або більшою кількістю змінних.

Ступінь зв'язку між значеннями одного й того ж ґрунтового показника, що визначалися синхронно (у розумінні програми моніторингу) в різних точках осушуваного масиву встановлювався з використанням класичних методів математичної статистики. У якості критерію ступеню тісноти кореляційного зв'язку між змінними  $x, y$  у даному випадку використовувався частковий коефіцієнт кореляції, або множинний коефіцієнт кореляції: [50,61,120,132,244]

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})(Y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{y})^2}}, \quad r = \sqrt{\frac{r_{X_1Y}^2 + r_{X_2Y}^2 - 2r_{X_1Y} r_{X_1X_2} r_{X_2Y}}{1 - r_{X_1X_2}^2}}, \quad (4.1)$$

(позначення – у розділі 3) з його наступною класичною оцінкою, або коефіцієнт детермінації  $r^2$  з оцінкою за шкалою Чеддока.

Значення коефіцієнта кореляції розраховані за 4.1 для різних сукупностей даних моніторингових спостережень зведено у табл. 4.1–4.8. Результати перевірки значущості коефіцієнтів кореляції зведено у додатку А (табл. А.2–А.10).

Для отримання адекватних моделей використаємо стохастичний підхід,



який враховує можливі зміни ґрунтового показника на основі відомих змін цього показника в інших точках осушуваної території, причому досліджувані ґрунтові характеристики будемо розглядати як випадкові величини, імовірнісні параметри яких ми отримали в попередньому розділі [210,211]. Логарифмічно нормальний характер емпіричного розподілу значень ґрунтових показників робить можливим застосування регресійного аналізу даних [83,112,128,131,133,243], який дозволяє судити про те, як кількісно змінюється ґрунтовий показник в досліджуваній неконтрольованій точці при зміні його в інших контрольованих точках. Таким чином, емпіричні моделі будуть ґрунтуватися на визначенні залежних значень ( $Y$ ) агрохімічних показників та концентрацій іонів водної витяжки у визначених пунктах осушуваних масивів за незалежними значеннями змінних  $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$  отриманими вимірюванням показників у контрольованих пунктах меліорованих та прилеглих до них земель.

Моделювання здійснюватимемо за фактичними значеннями ґрунтових показників, отриманими при проведенні моніторингових досліджень, на основі аналізу  $m$  відомих вибірових реалізацій  $V = \{(Y_i, X_i); i = \overline{1, m}\}$ , отриманих згідно дослідженої функції розподілу  $F(Y, X)$ . Якість таких моделей буде задовільною, коли функція розподілу наближається до нормальної [3,34]. Як відомо, функція розподілу досліджуваних ґрунтових показників наближається до логарифмічно-нормального розподілу [210] і описує сукупності фактичних значень ґрунтових показників, логарифм яких розподілений за нормальним законом розподілу. Якщо логарифм функції розподілу випадкової величини  $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$  є нормальним, то і логарифм модельованої величини  $Y$  буде підпорядкований нормальному закону розподілу [79,214]. При сумісному нормальному розподілі ( $Y, X$ ) регресія  $Y$  на  $X$  буде лінійною [15,215,258].

Зауважимо, що лінійність просторових моделей ґрунтових процесів осушуваних територій, імовірно обумовлена синхронною природою зв'язків між досліджуваними ґрунтовими показниками, обумовлених у свою чергу синхрон-



ністю основних ґрунтових процесів.

Емпіричні моделі, отримані на основі багатовимірної (та як частковий випадок простої одновимірної) лінійної регресії матимуть загальний вид:

$$Y(X) = \varepsilon + \theta_1 X_1 + \theta_2 X_2 + \dots + \theta_n X_n, \quad (4.2)$$

де  $Y(X)$  – модельоване (розрахункове) значення досліджуваного ґрунтового показника в заданій точці простору;  $X (X_1, X_2, \dots, X_n)$  – значення того самого ґрунтового показника, виміряне на  $n$  інших моніторингових стаціонарах у межах осушуваних земель;  $\varepsilon, \theta_j$  – параметри лінійної емпіричної моделі, при цьому  $\varepsilon$  може розглядатися, як деяка випадкова складова моделі.

Як вже було показано вище, просторова мінливість властивостей осушуваних ґрунтів є суттєвою. Однак, при закладенні моніторингової мережі спостережень, ґрунтові стаціонари було розташовано на найбільш типових для даного ґрунтово-кліматичного регіону ґрунтах (за відповідною схемою районування) та на найбільш типових осушувальних системах (за результатами їхньої типізації). Між основними генетичними типами (та й іншими таксонами класифікації) ґрунтів завжди існує істотна і чітка різниця, яка зумовлена просторовим взаємозв'язком ґрунтових режимів та процесів, еволюційними та сукцесійними змінами складу та властивостей в межах деякого природного регіону в певних умовах субстрату, клімату, рельєфу, зволоження тощо [2,35,38,39,44,55].

Маючи дані стаціонарних спостережень за багаторічний період (1987-2002 роки) можемо розробити емпіричні моделі розрахунку значень ґрунтових показників у межах простягання контрольованих осушених дерново-підзолистих піщаних, торфово-болотних та сірих лісових середньосуглинкових ґрунтів. Саме ці типи ґрунтів є домінантними на досліджуваній території і тому площі їх у межах осушуваних масивів найбільші (див. п. 2.2).

Дерново-підзолистий піщаний ґрунт на ОС «Воробино» представлений



двома ґрунтовими стаціонарами 18 і 19. Тому емпіричні моделі будуть будуватися за двома рядами спостережень, отриманими відповідно на цих стаціонарах. Співставлення значень ґрунтових показників визначених на стаціонарі 18 та значень ґрунтових показників на стаціонарі 19 дозволяє визначити ступінь та тісноту взаємозв'язку між ними. Шляхом вибору найбільш адекватних рівнянь регресії, при якому проводився порівняльний аналіз величин коефіцієнта кореляції та його статистичних характеристик, для дерново-підзолистого піщаного ґрунту ОС «Воробино» отримано 14 емпіричних моделей для агрохімічних показників та 10 емпіричних моделей для іонів водної витяжки ґрунту (табл. 4.1).

Коефіцієнт кореляції ( $r > 0,50$ ) показує, що між вмістом  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Eh}$ ,  $\text{pH}_{\text{KCl}}$ ,  $\text{G}$  існує достатньо тісний зв'язок в різних точках осушуваної системи. Це дозволяє використовувати дані спостережень на стаціонарі 18 для визначення значень цих показників в стаціонарі 19 і навпаки, а відтак моделювати значення вмісту вказаних показників на всьому масиві осушення. Середній ступінь ( $r = 0,57$ ) зв'язку характерний для вмісту  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Однак, він може бути зумовлений малою кількістю даних спостережень і потребує перевірки за допомогою спеціальних показників, яка буде проведена в подальшому (див. розділ 5).

Тісний кореляційний зв'язок та інші статистичні параметри отриманих моделей (повна статистична оцінка всіх моделей наведена у додатку Б) засвідчують можливість розрахунку значень ґрунтових показників в різних (типологічно та морфологічно відповідних) точках даної та інших осушувальних систем.

Таблиця 4.1

Емпіричні моделі розрахунку значень ґрунтових показників дерново-підзолистого піщаного ґрунту (за даними ОС «Воробино»)

Емпіричні моделі	$r$
1	2
За агрохімічними показниками	
$Y_{18}^{\text{NO}_3^-} = 0,301 + 0,8X_{19}^{\text{NO}_3^-}$	0,83
$Y_{19}^{\text{NO}_3^-} = 0,132 + 0,88X_{18}^{\text{NO}_3^-}$	





продовження табл. 4.1

1	2
$Y_{18}^{NH_4^+} = 0,641 + 0,42 X_{19}^{NH_4^+}$	0,61
$Y_{19}^{NH_4^+} = 0,162 + 0,88 X_{18}^{NH_4^+}$	
$Y_{18}^{K_2O} = -0,37 + 0,94 X_{19}^{K_2O}$	0,79
$Y_{19}^{K_2O} = 0,92 + 0,67 X_{18}^{K_2O}$	
$Y_{18}^{P_2O_5} = 0,98 + 0,32 X_{19}^{P_2O_5}$	0,67
$Y_{19}^{P_2O_5} = 3,92 + 0,23 X_{18}^{P_2O_5}$	
$Y_{18}^{pH_{KCl}} = 0,62 + 0,65 X_{19}^{pH_{KCl}}$	0,57
$Y_{19}^{pH_{KCl}} = 0,86 + 0,51 X_{18}^{pH_{KCl}}$	
$Y_{18}^{Eh} = 2,28 + 0,64 X_{19}^{Eh}$	0,76
$Y_{19}^{Eh} = 0,46 + 0,92 X_{18}^{Eh}$	
$Y_{18}^G = 0,224 + 0,8 X_{19}^G$	0,54
$Y_{19}^G = 0,613 + 0,37 X_{18}^G$	
<b>За іонами водної витяжки</b>	
$Y_{18}^{K^+Na^+} = 0,47 + 0,55 X_{19}^{K^+Na^+}$	0,56
$Y_{19}^{K^+Na^+} = 0,84 + 0,58 X_{18}^{K^+Na^+}$	
$Y_{18}^{Ca^{2+}} = 0,144 + 0,53 X_{19}^{Ca^{2+}}$	0,51
$Y_{19}^{Ca^{2+}} = 0,3 + 0,49 X_{18}^{Ca^{2+}}$	
$Y_{18}^{Cl^-} = -0,2 + 1,53 X_{19}^{Cl^-}$	0,97
$Y_{19}^{Cl^-} = 0,15 + 0,61 X_{18}^{Cl^-}$	
$Y_{18}^{SO_4^{2-}} = 0,46 + 0,52 X_{19}^{SO_4^{2-}}$	0,56
$Y_{19}^{SO_4^{2-}} = 0,75 + 0,60 X_{18}^{SO_4^{2-}}$	
$Y_{18}^{HCO_3^-} = 0,02 + 0,74 X_{19}^{HCO_3^-}$	0,70
$Y_{19}^{HCO_3^-} = 0,06 + 0,66 X_{18}^{HCO_3^-}$	

Для дерново-підзолистого піщаного некарбонатного ґрунту (ОС «Деражне-Постійне») емпіричні моделі будують за трьома рядами спостережень на стаціонарах 44, 84, 51 (табл. 4.2). Тісний взаємозв'язок спостерігається між значення-



ми рухомого калію  $K_2O$  в різних точках спостережень ( $r \geq 0,93$ ), а також між значеннями азоту нітратного  $NO_3$ , азоту амонійного  $NH_4$ , Eh, органічної речовини ( $r=0,63-0,82$ ). Середній зв'язок ( $r=0,29-0,40$ ) характерний для вмісту доступного фосфору  $P_2O_5$  та  $pH_{KCl}$ , що в певній мірі знижує збіжність даних у процесі їхнього відтворення.

Для іонів водної витяжки середній зв'язок ( $r=0,50-0,60$ ) спостерігається між значеннями  $K+Na^+$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $Ca^{2+}$ .

Середній та високий ступінь кореляційного зв'язку між ґрунтовими показниками в різних моніторингових стаціонарах підтверджує гіпотезу подібності умов формування досліджуваних показників.

Таблиця 4.2

Емпіричні моделі розрахунку значень ґрунтових показників дерново-підзолистого піщаного ґрунту (за даними ОС «Деражне-Постійне»)

Емпіричні моделі	<i>r</i>
1	2
За агрохімічними показниками	
$Y_{44}^{NO_3^-} = -0,171 + 0,503 X_{84}^{NO_3^-} + 0,416 X_{51}^{NO_3^-}$	0,71
$X_{51}^{NO_3^-} = 0,061 + 0,321 X_{44}^{NO_3^-} + 0,486 X_{84}^{NO_3^-}$	0,71
$Y_{84}^{NO_3^-} = 0,939 + 0,37 X_{51}^{NO_3^-} + 0,296 X_{51}^{NO_3^-}$	0,72
$Y_{44}^{NH_4^+} = -0,474 + 0,587 X_{84}^{NH_4^+} + 0,629 X_{51}^{NH_4^+}$	0,76
$Y_{51}^{NH_4^+} = 0,91 + 0,43 X_{44}^{NH_4^+} + 0,036 X_{84}^{NH_4^+}$	0,64
$Y_{84}^{NH_4^+} = 0,674 + 0,042 X_{51}^{NH_4^+} + 0,473 X_{44}^{NH_4^+}$	0,64
$Y_{44}^{K_2O} = -0,085 + 0,578 X_{84}^{K_2O} + 0,427 X_{51}^{K_2O}$	0,95
$Y_{51}^{K_2O} = -0,189 + 0,73 X_{44}^{K_2O} + 0,383 X_{84}^{K_2O}$	0,93
$Y_{84}^{K_2O} = 0,608 + 0,256 X_{51}^{K_2O} + 0,59 X_{44}^{K_2O}$	0,93
$Y_{44}^{P_2O_5} = 2,52 + 0,41 X_{84}^{P_2O_5} + 0,02 X_{51}^{P_2O_5}$	0,57
$Y_{51}^{P_2O_5} = 4,2 + 0,01 X_{44}^{P_2O_5} + 0,05 X_{84}^{P_2O_5}$	0,50
$Y_{84}^{P_2O_5} = 2,38 + 0,05 X_{51}^{P_2O_5} + 0,33 X_{44}^{P_2O_5}$	0,57
$Y_{44}^{pH_{KCl}} = 1,06 + 0,12 X_{44}^{pH_{KCl}} + 0,26 X_{51}^{pH_{KCl}}$	0,60



продовження табл. 4.2

1	2
$Y_{51}^{pH_{KCl}} = 0,94 + 0,39X_{44}^{pH_{KCl}} + 0,11X_{84}^{pH_{KCl}}$	0,68
$Y_{84}^{pH_{KCl}} = 0,89 + 0,194X_{51}^{pH_{KCl}} + 0,31X_{44}^{pH_{KCl}}$	0,69
$Y_{44}^{Eh} = 2,34 + 0,3X_{84}^{Eh} + 0,33X_{51}^{Eh}$	0,74
$Y_{51}^{Eh} = 2,8 + 0,123X_{44}^{Eh} + 0,443X_{84}^{Eh}$	0,63
$Y_{84}^{Eh} = 1,04 + 0,66X_{51}^{Eh} + 0,16X_{44}^{Eh}$	0,64
$Y_{44}^G = -0,08 + 0,51X_{84}^G + 0,52X_{51}^G$	0,82
$Y_{51}^G = 0,32 + 0,66X_{44}^G + 0,13X_{84}^G$	0,75
$Y_{84}^G = 0,343 + 0,101X_{51}^G + 0,502X_{44}^G$	0,71
За іонами водної витяжки	
$Y_{44}^{K+Na^+} = 0,55 + 0,51X_{51}^{K+Na^+}$	0,67
$Y_{51}^{K+Na^+} = 0,263 + 0,874X_{44}^{K+Na^+}$	
$Y_{44}^{Ca^{2+}} = 0,573 - 0,1X_{51}^{Ca^{2+}}$	0,50
$Y_{51}^{Ca^{2+}} = 0,544 + 0,03X_{44}^{Ca^{2+}}$	
$Y_{44}^{Cl^-} = 0,4 + 0,25X_{51}^{Cl^-}$	0,69
$Y_{51}^{Cl^-} = 0,12 + 0,982X_{44}^{Cl^-}$	
$Y_{44}^{SO_4^{2-}} = 0,234 + 0,83X_{51}^{SO_4^{2-}}$	0,79
$Y_{51}^{SO_4^{2-}} = 0,2 + 0,743X_{44}^{SO_4^{2-}}$	
$Y_{44}^{HCO_3^-} = 0,1 + 0,324X_{51}^{HCO_3^-}$	0,63
$Y_{51}^{HCO_3^-} = 0,03 + 1,21X_{44}^{HCO_3^-}$	

Дерново-підзолистий піщаний некарбонатний ґрунт (ОС «Язвинка»), який представлений трьома рядами спостережень на стаціонарах 10, 1, 62, малозабезпечений доступними формами азоту, обмінного калію, має кислу реакцію ґрунту на фоні досить сприятливого окисно-відновного режиму. Забезпеченість даної ґрунтової відміни рухомими формами фосфору та органічною речовиною є досить високою. Склад водної витяжки у часі стабільний за всіма показниками. Ґрунт незасолений, вміст хлоридів і сульфатів у нормі, вміст кальцію і магнію низький. В цілому дерново-підзолистий ґрунт (за даними спостережень на



ОС «Язвинка») має загальний рівень потенційної родючості близький до середнього. Кореляційний зв'язок між вмістом  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{pH}_{\text{KCl}}$ , Eh, органічної речовини в досліджуваних точках є досить тісним ( $r=0,50-0,97$ ). На стаціонарі 1 не проводилися спостереження за іонним складом ґрунтового розчину, тому кореляційний зв'язок ми досліджували за даними стаціонарів 10 та 62. Між значеннями концентрації іонів водної витяжки в цих точках спостерігається середній зв'язок ( $r \geq 0,50$ ). На основі кореляційного та регресійного аналізу побудовано емпіричні моделі, які отримані за даними моніторингових спостережень на стаціонарах 10, 1, 62 (табл. 4.3).

Таблиця 4.3

Емпіричні моделі розрахунку значень ґрунтових показників дерново-підзолистого піщаного ґрунту (за даними ОС «Язвинка»)

Емпіричні моделі	<i>r</i>
1	2
За агрохімічними показниками	
$Y_{10}^{\text{NO}_3^-} = 0,172 X_1^{\text{NO}_3^-} + 0,97 X_{62}^{\text{NO}_3^-} - 0,18$	0,89
$Y_{62}^{\text{NO}_3^-} = 0,23 + 0,49 X_{10}^{\text{NO}_3^-} + 0,28 X_1^{\text{NO}_3^-}$	0,91
$Y_1^{\text{NO}_3^-} = 0,244 + 0,73 X_{62}^{\text{NO}_3^-} + 0,23 X_{10}^{\text{NO}_3^-}$	0,83
$Y_{10}^{\text{NH}_4^+} = 0,37 + 0,1 X_1^{\text{NH}_4^+} + 0,75 X_{62}^{\text{NH}_4^+}$	0,77
$Y_{62}^{\text{NH}_4^+} = 0,29 + 0,69 X_{10}^{\text{NH}_4^+} + 0,1 X_1^{\text{NH}_4^+}$	0,77
$Y_1^{\text{NH}_4^+} = 0,15 + 0,34 X_{62}^{\text{NH}_4^+} + 0,32 X_{10}^{\text{NH}_4^+}$	0,45
$Y_{10}^{\text{K}_2\text{O}} = 0,75 + 0,11 X_1^{\text{K}_2\text{O}} + 0,39 X_{62}^{\text{K}_2\text{O}}$	0,78
$Y_{62}^{\text{K}_2\text{O}} = 0,97 X_{10}^{\text{K}_2\text{O}} + 0,34 X_1^{\text{K}_2\text{O}} - 0,12$	0,81
$Y_1^{\text{K}_2\text{O}} = 0,04 + 0,45 X_{62}^{\text{K}_2\text{O}} + 0,37 X_{10}^{\text{K}_2\text{O}}$	0,68
$Y_{10}^{\text{P}_2\text{O}_5} = 1,55 + 0,32 X_1^{\text{P}_2\text{O}_5} + 0,45 X_{62}^{\text{P}_2\text{O}_5}$	0,69
$Y_{62}^{\text{P}_2\text{O}_5} = 0,70 X_{10}^{\text{P}_2\text{O}_5} + 0,06 X_1^{\text{P}_2\text{O}_5} - 0,46$	0,63
$Y_1^{\text{P}_2\text{O}_5} = 2,47 + 0,06 X_{62}^{\text{P}_2\text{O}_5} + 0,41 X_{10}^{\text{P}_2\text{O}_5}$	0,50



продовження табл. 4.3

1	2
$Y_{10}^{pH_{KCl}} = 0,35 + 0,87 X_1^{pH_{KCl}} - 0,12 X_{62}^{pH_{KCl}}$	0,88
$Y_{62}^{pH_{KCl}} = 0,53 - 0,04 X_{10}^{pH_{KCl}} + 0,85 X_1^{pH_{KCl}}$	0,95
$Y_1^{pH_{KCl}} = 0,85 X_{62}^{pH_{KCl}} + 0,31 X_{10}^{pH_{KCl}} - 0,44$	0,97
$Y_{10}^{Eh} = 1,19 - 0,27 X_1^{Eh} + 1,09 X_{62}^{Eh}$	0,86
$Y_{62}^{Eh} = 0,64 X_{10}^{Eh} + 0,37 X_1^{Eh} - 0,23$	0,89
$Y_1^{Eh} = 3,74 + 0,72 X_{62}^{Eh} - 0,32 X_{10}^{Eh}$	0,58
$Y_{10}^G = 0,03 - 0,05 X_1^G + 0,75 X_{62}^G$	0,88
$Y_{62}^G = 0,95 X_{10}^G + 0,24 X_1^G - 0,02$	0,89
$Y_1^G = 1,01 + 0,52 X_{62}^G - 0,14 X_{10}^G$	0,53
За іонами водної витяжки	
$Y_{10}^{K^+ + Na^+} = 0,80 + 0,274 X_{62}^{K^+ + Na^+}$	0,50
$Y_{62}^{K^+ + Na^+} = 0,524 + 0,87 X_{10}^{K^+ + Na^+}$	
$Y_{10}^{Ca^{2+}} = 0,39 + 0,01 X_{62}^{Ca^{2+}}$	0,52
$Y_{62}^{Ca^{2+}} = 0,823 + 0,21 X_{10}^{Ca^{2+}}$	
$Y_{10}^{Cl^-} = 0,453 + 0,1 X_{62}^{Cl^-}$	0,72
$Y_{62}^{Cl^-} = 0,68 + 0,30 X_{10}^{Cl^-}$	
$Y_{10}^{SO_4^{2-}} = 0,57 + 0,40 X_{62}^{SO_4^{2-}}$	0,53
$Y_{62}^{SO_4^{2-}} = 0,38 + 0,71 X_{10}^{SO_4^{2-}}$	
$Y_{10}^{HCO_3^-} = 0,183 + 0,03 X_{62}^{HCO_3^-}$	0,69
$Y_{62}^{HCO_3^-} = 0,36 + 1,33 X_{10}^{HCO_3^-}$	

Сірий лісовий середньосуглинковий карбонатний ґрунт (контролюється на типовій ОС «Головниця») представлений трьома моніторинговими стаціонарами: 1, 10, 12. Дана ґрунтова відміна має лужну реакцію, сприятливий окисно-відновний режим, досить високий вміст органічної речовини. Забезпеченість ґрунту елементами мінерального живлення низька, оскільки тут спостерігається



низький вміст нітратних, амонійних форм азоту та доступних форм фосфору і калію. За іонним складом водної витяжки ґрунт незасолений.

Як показав кореляційний аналіз, для сірого лісового ґрунту (ОС «Головниця», моніторингові стаціонари 1, 10, 12), високий ступінь взаємозв'язку спостерігається між значеннями наступних ґрунтових показників:  $\text{NO}_3^-$  ( $r \geq 0,9$ ),  $\text{NH}_4^+$  ( $r \geq 0,92$ ),  $\text{K}_2\text{O}$  ( $r \geq 0,88$ ),  $E_h$  ( $r \geq 0,98$ ), вмісту органічної речовини ( $r \geq 0,83$ ). Середній ступінь кореляційного зв'язку характерний для значень  $\text{P}_2\text{O}_5$  ( $r = 0,40-0,53$ ),  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  ( $r = 0,55-0,81$ ). Між значеннями іонів водної витяжки  $\text{Ca}^{2+}$  ( $r \geq 0,71$ ) та  $\text{HCO}_3^-$  ( $r \geq 0,90$ ) зв'язок тісний. Між значеннями іонів  $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , зв'язок значно слабший, про що свідчать низькі значення коефіцієнта кореляції (табл. 4.4).

За даними моніторингових спостережень на стаціонарах 1, 10, 12, і, спираючись на результати кореляційного та регресійного аналізу, побудовано емпіричні моделі розрахунку значень базових ґрунтових показників осушуваних сірих лісових середньосуглинкових ґрунтів (табл. 4.4.)

Таблиця 4.4

Емпіричні моделі розрахунку значень ґрунтових показників  
сірих лісових середньосуглинкових ґрунтів (за даними ОС «Головниця»)

Емпіричні моделі	$r$
1	2
За агрохімічними показниками	
$Y_1^{\text{NO}_3^-} = 0,43 + 0,06 X_{10}^{\text{NO}_3^-} + 0,75 X_{12}^{\text{NO}_3^-}$	0,92
$Y_{12}^{\text{NO}_3^-} = -0,14 + 0,69 X_1^{\text{NO}_3^-} + 0,33 X_{10}^{\text{NO}_3^-}$	0,95
$Y_{10}^{\text{NO}_3^-} = -0,06 + 0,89 X_{12}^{\text{NO}_3^-} + 0,15 X_1^{\text{NO}_3^-}$	0,89
$Y_1^{\text{NH}_4^+} = -0,16 + 0,31 X_{10}^{\text{NH}_4^+} + 0,73 X_{12}^{\text{NH}_4^+}$	0,97
$Y_{12}^{\text{NH}_4^+} = 0,24 + 0,80 X_1^{\text{NH}_4^+} + 0,11 X_{10}^{\text{NH}_4^+}$	0,96
$Y_{10}^{\text{NH}_4^+} = 0,13 + 0,23 X_{12}^{\text{NH}_4^+} + 0,71 X_1^{\text{NH}_4^+}$	0,92
$Y_1^{\text{K}_2\text{O}} = 0,70 + 0,59 X_{10}^{\text{K}_2\text{O}} + 0,21 X_{12}^{\text{K}_2\text{O}}$	0,92



продовження табл. 4.4

1	2
$Y_{12}^{K_2O} = 0,13 + 0,50X_1^{K_2O} + 0,55X_{10}^{K_2O}$	0,88
$Y_{10}^{K_2O} = -0,34 + 0,28X_{12}^{K_2O} + 0,75X_1^{K_2O}$	0,93
$Y_1^{P_2O_5} = 1,01 + 0,34X_{10}^{P_2O_5} + 0,23X_{12}^{P_2O_5}$	0,51
$Y_{12}^{P_2O_5} = 4,64 + 0,43X_1^{P_2O_5} - 0,34X_{10}^{P_2O_5}$	0,40
$Y_{10}^{P_2O_5} = 3,23 - 0,38X_{12}^{P_2O_5} + 0,7X_1^{P_2O_5}$	0,53
$Y_1^{pH_{KCl}} = 0,45 + 0,174X_{10}^{pH_{KCl}} + 0,61X_{12}^{pH_{KCl}}$	0,81
$Y_{12}^{pH_{KCl}} = 0,34 + 0,82X_1^{pH_{KCl}} - 0,001X_{10}^{pH_{KCl}}$	0,77
$Y_{10}^{pH_{KCl}} = 0,20 - 0,06X_{12}^{pH_{KCl}} + 0,89X_1^{pH_{KCl}}$	0,55
$Y_1^{Eh} = -0,50 - 0,711X_{10}^{Eh} + 1,79X_{12}^{Eh}$	0,97
$Y_{12}^{Eh} = 0,35 + 0,34X_1^{Eh} - 0,61X_{10}^{Eh}$	0,99
$Y_{10}^{Eh} = -0,33 + 1,35X_{12}^{Eh} - 0,29X_1^{Eh}$	0,98
$Y_1^G = 0,31 + 0,17X_{10}^G + 0,83X_{12}^G$	0,92
$Y_{12}^G = 0,35 + 0,68X_1^G + 0,33X_{10}^G$	0,93
$Y_{10}^G = 0,60 + 0,47X_{12}^G - 0,20X_1^G$	0,83
<b>За іонами водної витяжки</b>	
$Y_1^{K^+Na^+} = 0,84 + 0,22X_{10}^{K^+Na^+} + 0,33X_{12}^{K^+Na^+}$	0,38
$Y_{12}^{K^+Na^+} = 0,47 + 0,16X_1^{K^+Na^+} + 0,58X_{10}^{K^+Na^+}$	0,52
$Y_{10}^{K^+Na^+} = 0,31 + 0,33X_{12}^{K^+Na^+} + 0,134X_1^{K^+Na^+}$	0,53
$Y_1^{Ca^{2+}} = 0,25 + 0,54X_{10}^{Ca^{2+}} + 0,09X_{12}^{Ca^{2+}}$	0,92
$Y_{12}^{Ca^{2+}} = -0,26 + 1,29X_1^{Ca^{2+}} + 0,05X_{10}^{Ca^{2+}}$	0,91
$Y_{10}^{Ca^{2+}} = -0,01 + 0,26X_{12}^{Ca^{2+}} + 0,97X_1^{Ca^{2+}}$	0,71
$Y_1^{Cl^-} = 0,20 + 0,59X_{10}^{Cl^-} + 0,20X_{12}^{Cl^-}$	0,51
$Y_{12}^{Cl^-} = 0,17 + 0,43X_1^{Cl^-} + 0,20X_{10}^{Cl^-}$	0,53
$Y_{10}^{Cl^-} = -0,01 + 0,62X_{12}^{Cl^-} + 0,44X_1^{Cl^-}$	0,55
$Y_1^{SO_4^{2-}} = 1,01 - 0,35X_{10}^{SO_4^{2-}} + 0,46X_{12}^{SO_4^{2-}}$	0,57
$Y_{12}^{SO_4^{2-}} = 0,55 - 0,133X_1^{SO_4^{2-}} + 0,57X_{10}^{SO_4^{2-}}$	0,46



продовження табл. 4.4

1	2
$Y_{10}^{SO_4^{2-}} = 0,36 + 0,35X_{12}^{SO_4^{2-}} + 0,11X_1^{SO_4^{2-}}$	0,47
$Y_1^{HCO_3^-} = 0,01 + 0,44X_{10}^{HCO_3^-} + 0,53X_{12}^{HCO_3^-}$	0,90
$Y_{12}^{HCO_3^-} = 0,04 + 0,24X_1^{HCO_3^-} + 0,45X_{10}^{HCO_3^-}$	0,91
$Y_{10}^{HCO_3^-} = 0,01 + 0,72X_{12}^{HCO_3^-} + 0,46X_1^{HCO_3^-}$	0,92

Торфво-болотний карбонатний ґрунт за даними моніторингових спостережень на ОС «Стубелка» характеризується низькою забезпеченістю доступними формами азоту, калію та високим вмістом рухомих фосфатів. Реакція рН<sub>KCl</sub> сольової витяжки вказує на те, що у багаторічному розрізі торфво-болотний ґрунт має лужну реакцію. Окисно-відновний режим сприятливий і аналіз даних показує, що у ґрунті переважають окисні процеси. Аналіз іонного складу водної витяжки за багаторічний період дозволяє стверджувати, що досліджуваний ґрунт сабо засолений за хлоридним типом при низькому вмісті солей кальцію та магнію.

При побудові емпіричних моделей ми скористалися наявними даними, отриманими на моніторингових стаціонарах 32, 41. Кореляційний аналіз показав, що існує тісний зв'язок ( $r=0,61 \div 0,99$ ) між значеннями  $NO_3^-$ ,  $NH_4^+$ ,  $K_2O$ , рН<sub>KCl</sub>, Eh. Для значень іонів водної витяжки тісний зв'язок присутній при аналізі даних про концентрацію іонів  $K^+ + Na^+$  та  $SO_4^{2-}$ . Для значень іонів інших солей характерний середній ступінь тісноти (табл. 4.5).

Таблиця 4.5

Емпіричні моделі розрахунку значень ґрунтових показників торфво-болотних ґрунтів (за даними ОС «Стубелка»)

Емпіричні моделі	<i>r</i>
1	2
За агрохімічними показниками	
$Y_{32}^{NO_3^-} = 0,84 + 0,5X_{41}^{NO_3^-}$	0,61





продовження табл. 4.5

1	2
$Y_{41}^{NO_3^-} = 0,98 + 0,75 X_{32}^{NO_3^-}$	0,61
$Y_{32}^{NH_4^+} = -0,20 + 0,82 X_{41}^{NH_4^+}$	0,81
$Y_{41}^{NH_4^+} = 1,03 + 0,80 X_{32}^{NH_4^+}$	
$Y_{32}^{K_2O} = 0,27 + 1,03 X_{41}^{K_2O}$	0,78
$Y_{41}^{K_2O} = 0,84 + 0,51 X_{32}^{K_2O}$	
$Y_{32}^{P_2O_5} = 3,16 + 0,26 X_{41}^{P_2O_5}$	0,58
$Y_{41}^{P_2O_5} = 3,48 + 0,31 X_{32}^{P_2O_5}$	
$Y_{32}^{pH_{KCl}} = 0,32 + 0,84 X_{41}^{pH_{KCl}}$	0,92
$Y_{41}^{pH_{KCl}} = -0,01 + 1,01 X_{32}^{pH_{KCl}}$	
$Y_{32}^{Eh} = -0,06 + 1,01 X_{41}^{Eh}$	0,99
$Y_{41}^{Eh} = 0,14 + 0,98 X_{32}^{Eh}$	
За іонами водної витяжки	
$Y_{32}^{K^+ + Na^+} = 0,33 + 0,65 X_{41}^{K^+ + Na^+}$	0,61
$Y_{41}^{K^+ + Na^+} = 1,50 + 0,58 X_{32}^{K^+ + Na^+}$	
$Y_{32}^{Ca^{2+}} = 1,62 - 0,1 X_{41}^{Ca^{2+}}$	0,57
$Y_{41}^{Ca^{2+}} = 4,24 + 0,67 X_{32}^{Ca^{2+}}$	
$Y_{32}^{Cl^-} = 0,93 + 0,18 X_{41}^{Cl^-}$	0,52
$Y_{41}^{Cl^-} = 2,64 + 0,42 X_{32}^{Cl^-}$	
$Y_{32}^{SO_4^{2-}} = 0,34 + 0,58 X_{41}^{SO_4^{2-}}$	0,52
$Y_{41}^{SO_4^{2-}} = 0,95 + 0,48 X_{32}^{SO_4^{2-}}$	
$Y_{32}^{HCO_3^-} = 0,53 + 0,04 X_{41}^{HCO_3^-}$	0,54
$Y_{41}^{HCO_3^-} = 1,11 + 0,64 X_{32}^{HCO_3^-}$	

Сірий лісовий середньосуглинковий карбонатний осушуваний ґрунт (ОС «Іква»), що є елементом ґрунтового покриву Кременецько-Дубенської зандрової рівнини, представлений двома рядами спостережень на стаціонарах 1 та 18.



Моделі, побудовані нами за результатами кореляційного та регресійного аналізу моніторингових даних, наведено у таблиці 4.6.

Таблиця 4.6

Емпіричні моделі розрахунку значень ґрунтових показників сірих лісових середньосуглинкових ґрунтів (за даними ОС «Іква»)

Емпіричні моделі	<i>r</i>
1	2
За агрохімічними показниками	
$Y_1^{NO_3^-} = -0,42 + 0,96 X_{18}^{NO_3^-}$	0,84
$Y_{18}^{NO_3^-} = 0,89 + 0,73 X_1^{NO_3^-}$	
$Y_1^{NH_4^+} = 0,25 + 0,75 X_{18}^{NH_4^+}$	0,87
$Y_{18}^{NH_4^+} = 0,14 + X_1^{NH_4^+}$	
$Y_1^{K_2O} = 0,64 + 0,67 X_{18}^{K_2O}$	0,90
$Y_{18}^{K_2O} = -0,18 + 1,22 X_1^{K_2O}$	
$Y_1^{P_2O_5} = 3,16 - 0,02 X_{18}^{P_2O_5}$	0,52
$Y_{18}^{P_2O_5} = 3,81 - 0,03 X_1^{P_2O_5}$	
$Y_1^{pH_{KCl}} = -0,01 + 0,997 X_{18}^{pH_{KCl}}$	0,84
$Y_{18}^{pH_{KCl}} = 0,60 + 0,71 X_1^{pH_{KCl}}$	
$Y_1^{Eh} = 0,48 + 0,92 X_{18}^{Eh}$	0,96
$Y_{18}^{Eh} = 0,03 + 0,993 X_1^{Eh}$	
$Y_1^G = 0,59 + 0,44 X_{18}^G$	0,52
$Y_{18}^G = 0,87 + 0,63 X_1^G$	
За іонами водної витяжки	
$Y_1^{K^+ + Na^+} = 0,29 + 1,18 X_{18}^{K^+ + Na^+}$	0,60
$Y_{18}^{K^+ + Na^+} = 1,09 + 0,31 X_1^{K^+ + Na^+}$	
$Y_1^{Ca^{2+}} = 1,01 + 0,01 X_{18}^{Ca^{2+}}$	0,53
$Y_{18}^{Ca^{2+}} = 1,05 + 0,03 X_1^{Ca^{2+}}$	
$Y_1^{Cl^-} = 0,63 + 0,16 X_{18}^{Cl^-}$	0,67
$Y_{18}^{Cl^-} = 0,55 + 0,47 X_1^{Cl^-}$	



продовження табл. 4.6

1	2
$Y_1^{SO_4^{2-}} = 0,53 + 1,57 X_{18}^{SO_4^{2-}}$	0,70
$Y_{18}^{SO_4^{2-}} = 0,76 + 0,31 X_1^{SO_4^{2-}}$	
$Y_1^{HCO_3^-} = 0,29 + 0,32 X_{18}^{HCO_3^-}$	0,52
$Y_{18}^{HCO_3^-} = 0,30 + 0,64 X_1^{HCO_3^-}$	

Для даного ґрунту тісний зв'язок спостерігається між значеннями вмісту доступного азоту та калію ( $r=0,8-0,95$ ). Для інших агрохімічних показників ступінь зв'язку є значно нижчим. При аналізі концентрації іонів водної витяжки між значеннями іонів солей  $Ca^{2+}$  та  $Cl^-$  кореляційний зв'язок середній, що, відповідно, знижує збіжність даних при їх відтворенні.

Торфово-болотні карбонатні ґрунти (ОС «Іква») представлені двома рядами спостережень на стаціонарах 26, 12. Ґрунти високозабезпечені доступними формами азоту і мають високу зольність. Вміст рухомих форм калію та фосфору мінливий за роками спостережень і відповідає низькому рівню забезпечення, що, імовірно, пов'язано з тривалою відсутністю регулювання калійного та фосфорного режиму. За реакцією ґрунтового розчину торфово-болотні ґрунти нейтральні, мають сприятливий окисно-відновний режим з переважанням окисних процесів. Кореляційний аналіз засвідчує тісний зв'язок між значеннями агрохімічних показників, отриманих на моніторингових стаціонарах ( $r>0,50$ ). Аналіз значень вмісту солей не проводився, оскільки моніторингові спостереження за водною витяжкою відсутні.

Таблиця 4.7

Емпіричні моделі розрахунку значень ґрунтових показників торфово-болотних карбонатних ґрунтів (за даними ОС «Іква»)

Емпіричні моделі	$r$
1	2
$Y_{26}^{NO_3^-} = 1,15 + 0,59 X_{12}^{NO_3^-}$	0,51



продовження табл. 4.7

1	2
$Y_{12}^{NO_3^-} = 2,11 + 0,44 X_{26}^{NO_3^-}$	
$Y_{26}^{NH_4^+} = 1,07 X_{12}^{NH_4^+} - 0,44$	0,84
$Y_{12}^{NH_4^+} = 1,14 + 0,67 X_{26}^{NH_4^+}$	
$Y_{26}^{K_2O} = 0,54 + 0,8 X_{12}^{K_2O}$	0,81
$Y_{12}^{K_2O} = 0,65 + 0,81 X_{26}^{K_2O}$	
$Y_{26}^{P_2O_5} = 0,83 + 0,86 X_{12}^{P_2O_5}$	0,75
$Y_{12}^{P_2O_5} = 1,55 + 0,65 X_{26}^{P_2O_5}$	
$Y_{26}^{pH_{KCl}} = 0,55 + 0,72 X_{12}^{pH_{KCl}}$	0,78
$Y_{12}^{pH_{KCl}} = 0,32 + 0,84 X_{26}^{pH_{KCl}}$	
$Y_{26}^{Eh} = 1,03 X_{12}^{Eh} - 0,18$	0,98
$Y_{12}^{Eh} = 0,38 + 0,94 X_{26}^{Eh}$	

Таким чином, на основі кореляційних залежностей (які можуть бути покладені в основу емпіричних моделей розрахунку значень ґрунтових показників) можна кількісно описати синхронні закономірності формування властивостей ґрунтів у кожному типологічно та морфологічно відповідному пункті осушуваних земель в залежності від значень показників моніторингу меліорованих ґрунтів в досліджуваних пунктах (моніторингових стаціонарах). Іншими словами, в результаті проведених досліджень нам вдалося врахувати єдність ґрунтово-кліматичних процесів та напрямів використання осушуваних ґрунтів, що визначають інтенсивність протікання основних ґрунтових процесів на меліорованих територіях, і побудувати відповідні залежності у формі рівнянь прямолінійної регресії. Наявність таких взаємозалежностей значень ґрунтових показників, отриманих нами для умов осушуваних земель Західного Полісся та Лісостепу, дає можливість принципового вирішення задач відтворення моніторингових даних про стан осушуваних земель та близьких до них за умовами прилеглих територій.



## 4.2. Параметризація емпіричних моделей

Важливим етапом побудови математичних моделей є їхня параметризація (ідентифікація), зміст якої полягає у включенні до структури моделі відповідних параметрів, які забезпечують якомога більш адекватний опис або імітацію модельованих процесів і явищ, а також встановлення значень цих та вже відомих параметрів.

Серед параметрів емпіричних моделей можна виділити дві групи. Першу складають характеристики, які притаманні даному ґрунтовому показнику, а їх числові значення можуть бути прийняті для визначеного типу ґрунту незалежно від місцезнаходження точки спостереження. Числові значення цих параметрів визначаються на стадії побудови рівнянь регресії за стандартними статистичними методами.

До другої групи входять параметри, числові значення яких змінюються в залежності від місцевих умов: напряму використання, культури землеробства, внесення добрив, способів обробітку ґрунту, структури польових сівозмін та інших факторів.

У нашому випадку при побудові емпіричних моделей параметризація їх зводиться до встановлення значень параметрів  $\varepsilon$  і  $\theta_j$  (4.2) у рівняннях лінійної регресії за допомогою класичних математико-статистичних методів, а також у введенні до моделі деякого мультиплікативного параметра, «поправки», яка враховує деяку сукупність специфічних місцевих умов.

Значення довільного ґрунтового показника в будь-якій точці у будь-який момент часу визначається поточними ґрунтово-кліматичними і погодними умовами, рівнем культури землеробства та сільськогосподарського використання земель, іншими чинниками. Тенденція зміни значень ґрунтових характеристик залежить від впровадження досягнень науки та техніки в практику, збільшення затрат технічних засобів, покращення організації праці та внесення добрив, зміни сортової культури посівів, меліорації. Оптимізація ґрунтових показників



є, серед іншого, наслідком поступового покращення культури землеробства при середньому рівні ґрунтово-кліматичних умов. Відхилення значень від оптимуму визначаються головним чином агрометеорологічними умовами вегетаційних періодів конкретних років.

У процесі параметризації моделей виникають два випадки. У першому маємо справу з одновимірною, а у другому – з багатовимірною (територіальна структура моніторингових спостережень зазвичай забезпечує двовимірність) регресією.

У першому випадку невідомі параметри  $\varepsilon, \theta$  (4.2) визначаємо за залежностями [15,83,84,257]:



$$\varepsilon = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i Y_i - n \bar{x} \bar{y})}{\sum_{i=1}^n X_i^2 - n \bar{x}^2}, \quad (4.3)$$

$$\theta = \bar{y} - a \bar{x}. \quad (4.4)$$

Необхідно встановити їх значення, які найбільше відповідають досліджуваній групі точок (полю кореляції). Це досягається в тому випадку, коли (за принципом Лежандра-Гауса) сума квадратів відхилень спостережуваних даних від розрахованих ( $Q$ ) за рівнянням регресії буде мінімальною, тобто розрахунок проводимо за методом найменших квадратів [53,169]:

$$Q = \sum_{i=1}^n [Y_i - (\varepsilon X_i + \theta)]^2 \rightarrow \min. \quad (4.5)$$

У другому випадку визначення невідомих параметрів моделі за методом найменших квадратів, як і у попередньому, полягає у мінімізації суми квадратів



$$Q(\theta_1, \dots, \theta_n) = \sum_{i=1}^n (Y_i - \theta_1 X_{i1} - \dots - \theta_n X_{in})^2 \rightarrow \min. \quad (4.6)$$

При цьому розв'язувалася система  $n$  нормальних лінійних рівнянь з  $n$  невідомими, яка у матрично-векторній формі має вигляд [83,84,257]:

$$X^T X \Theta = X^T Y, \quad (4.7)$$

де  $X = \begin{pmatrix} X_{10} & X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{20} & X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ X_{m0} & X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mn} \end{pmatrix}$  - матриця  $n$  незалежних змінних в  $m$  спос-

стереженнях;  $X^T$  - та сама матриця у транспонованому вигляді;  $Y = \begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_m \end{pmatrix}$  і

$\Theta = \begin{pmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \vdots \\ \theta_n \end{pmatrix}$  - відповідно вектор-стовпець значень залежної змінної та вектор-стовпець параметрів. Система рівнянь (4.7) має єдиний розв'язок

$$\Theta = (X^T X)^{-1} X^T Y. \quad (4.8)$$

Тоді значення кожного коефіцієнта регресії (параметра) розраховуємо за залежністю

$$\theta_j = \sum_{i=1}^m c_{ij} \sum_{i=1}^m Y_i X_{ij}, \quad (4.9)$$



де  $c_{ij}$  - елементи оберненої матриці  $(X^T X)^{-1}$ .

Зважаючи на складність ґрунту, як емпіричної динамічної системи, внаслідок тісної взаємодії між ґрунтовими чинниками і процесами, впливу природних факторів (сонячної радіації, опадів, температури повітря тощо) та антропогенних факторів [123,144,162], емпіричні моделі ґрунтових показників повинні містити велику кількість аргументів і мати складну структуру. Суттєву роль при формуванні ґрунтових характеристик відіграють вологість ґрунту та рівень ґрунтових вод, оскільки осушувані землі є водно-меліоративними об'єктами. Досліджувані ґрунтові показники також є залежними від сукупності ґрунтових характеристик та умов зовнішнього середовища: атмосферних опадів, температурного режиму ґрунту, сільськогосподарського використання території, внесення добрив та багатьох інших зовнішніх і внутрішніх чинників, повне врахування яких практично неможливе [163,165,200]. Фактори (змінні моделі) залежать (зазвичай з ознаками кумулятивності) один від одного, або кожен з них може виражати вплив цілої групи факторів, тобто кожна з емпіричних моделей є функціоналом.

Отже, при побудові емпіричних моделей необхідно врахувати вплив головних факторів, які на основі загальносистемних принципів вносять суттєвий вклад в процес формування ґрунтових характеристик і режимів, урожайності сільськогосподарських культур і цим самим зумовлюють значні коливання значень досліджуваних ґрунтових показників. Ці головні фактори і визначають основний вид зв'язку, а менш суттєві чинники створюють деяке поле розсіювання (у тому числі «білий гаусівський шум»), характерне для стохастичних залежностей [4,14,174,246]. Тому, з метою врахування впливу головних факторів в процесі ідентифікації моделей введемо мультиплікативні емпіричні поправочні коефіцієнти, які дозволять отриманим таким чином остаточним моделям точніше відобразити процеси і явища, що відбуваються в осушуваних ґрунтах і, таким





чином, підвищити збіжність модельованих значень з емпіричними у процесі відтворення моніторингової інформації.

При введенні емпіричного поправочного коефіцієнта загальний вигляд моделей буде наступним:

$$Y(X) = \mu (\varepsilon + \theta_1 X_1 + \theta_2 X_2 + \dots + \theta_n X_n), \quad (4.10)$$

де  $\mu$  – поправочний коефіцієнт, який враховує специфіку природно-меліоративних умов та умов використання земель у розрахунковій точці (табл. 4.8).

Безрозмірний емпіричний поправочний коефіцієнт  $\sigma$  є адаптивним параметром, оскільки його значення змінюються в залежності від реальних природно-техногенних умов у кожному пункті моделювання. Отримані нами методом послідовних ітерацій у процесі ідентифікації моделей числові значення поправочного коефіцієнта наведено у таблиці 4.8.

Таблиця 4.8

Поправочні коефіцієнти для емпіричних моделей ґрунтових показників на осушуваних землях західного Полісся та Лісостепу України

Коефіцієнт $\mu$		Умова введення коефіцієнта $\mu$				
для мінеральних ґрунтів	для торфових ґрунтів	РГВ	с/г культура	внесення добрив	рівень с/г використання	інші фактори впливу
0,4-0,6	0,2-0,8	+	+	+	+	-
1,5-1,9	1,3-1,6	+	+	+	-	-
2,5-2,9	4,5-6,9	+	+	-	-	-
8-10	10-12	+	-	-	-	-

Примітка: «+» – зазначений фактор впливу приблизно однаковий для розрахункових точок та ґрунтових стаціонарів (у кількісному вираженні відхиляється не більш ніж на 25 %); «-» – зазначений фактор впливу відрізняється для розрахункових точок та ґрунтових стаціонарів (у кількісному вираженні відхиляється більш ніж на 25 %).



Розроблена нами методика визначення параметра  $\mu$  є наступною:

1. Головні чинники: рівень ґрунтових вод, тип сільськогосподарського використання, проведення заходів з удобрення, рівень сільськогосподарського використання (переліг, сіножать або пасовище, багаторічні трави, сівозміна певного типу тощо) розглядаються як рівнозначні.

2. Якщо всі головні чинники впливу є приблизно однаковими («+») для розрахункових точок та ґрунтових стаціонарів, а інші (другорядні) фактори впливу – різні («-»), приймаємо значення поправочного коефіцієнта у діапазоні 0,4-0,6 для мінеральних ґрунтів та 0,2-0,8 – для торфових ґрунтів.

3. Якщо для розрахункових точок та ґрунтових стаціонарів приблизно однаковими є не менше трьох основних факторів впливу, поправочний коефіцієнт приймаємо з діапазону 1,5-1,9 для мінеральних ґрунтів, 1,3-1,6 – для торфових ґрунтів відповідно.

4. Якщо не більше двох факторів впливу є приблизно однаковими для розрахункових пунктів та ґрунтових стаціонарів – поправочний коефіцієнт становитиме 2,5-2,9 для мінеральних ґрунтів і 4,5-6,9 – для торфових.

5. За умови, що тільки один фактор впливу є приблизно однаковими для розрахункових пунктів та ґрунтових стаціонарів, поправочний коефіцієнт становитиме 8-10 для мінеральних ґрунтів, 10-12 – для торфових ґрунтів.

Конкретні значення поправочного коефіцієнта у першому наближенні приймаємо середніми для відповідного інтервалу з подальшим уточненням у процесі аналізу збіжності значень при калібруванні моделей.

Запропоновані наукові принципи побудови математичних моделей є важливими з наступних причин: по-перше, з точки зору використання положень теорії генетико-морфологічних та типологічних закономірностей просторової будови ґрунтового покриву світу, що дозволяє перейти від точкового до теренового відображення результатів стаціонарних моніторингових досліджень; по-друге, з точки зору виявлення базових кореляційних закономірностей просторової, часової динаміки та хроноорганізації осушуваних земель, а отже можли-



востей розвитку на цій основі математико-статистичних методів просторової екстраполяції даних еколого-меліоративного моніторингу осушуваних земель для потреб вирішення конкретних задач відтворення та візуалізації інформації, у тому числі засобами ГІС. Саме у цьому полягає, на нашу думку, принципова особливість і наукова цінність виконаних досліджень.

З позицій суто утилітарних, запропоновані нами моделі дають можливість:

- суттєво збільшити обсяг баз даних еколого-меліоративного моніторингу осушуваних ґрунтів за рахунок відтворених просторово розподілених даних про стан ґрунтового покриву без проведення спеціальних лабораторних та польових досліджень;
- в рамках стандартних прикладних ГІС-пакетів розробляти надбудови відтворення моніторингової інформації за запропонованими методами просторової екстраполяції;
- створювати тематичні карти, картосхеми, карти ізоліній, картодіаграми тощо стосовно ґрунтового покриву осушуваних земель за ретроспективу, в оперативному режимі та у режимі прогнозування;
- на отриманій інформаційній основі розробляти конкретні управлінські рішення та рекомендації для водогосподарських, землевпорядних, природоохоронних органів, суб'єктів господарювання на осушуваних землях України.

## Висновки до розділу

1. Природа взаємозв'язків досліджуваних ґрунтових процесів на осушуваних територіях, їхня динаміка в часі та просторі дозволяють застосовувати методи регресійного та кореляційного аналізів. Обґрунтовано загальний вид емпіричних моделей – лінійне рівняння регресії.

2. Для отримання емпіричних моделей використовуємо стохастичний підхід, який враховує дію факторів, що впливають на досліджувану змінну. Дослі-



джувані ґрунтові змінні розглядаються як випадкові величини, імовірнісні параметри яких отримано за допомогою вибіркових реалізацій.

3. Побудовано 228 базових емпіричних моделей за даними відповідних ґрунтових моніторингових стаціонарів та спеціальних польових досліджень у межах морфологічно та генетично однотипних ґрунтових контурів для окремих осушувальних систем. З них – 133 моделі за агрохімічними показниками та 95 моделей за іонами ґрунтового розчину.

4. В рамках отриманих емпіричних моделей описується лінійна регресія з перетворенням фактичного розподілу до багатовимірного нормального розподілу випадкових величин – ґрунтових характеристик. Модель може застосовуватися за умови, що всі змінні моделі – випадкові величини. Використання запропонованих моделей передбачає детермінованість параметрів моделі та нормальність розподілу похибок. Параметри моделей розраховувалися за принципом найменших квадратів, який забезпечує досягнення мінімальної похибки.

5. У процесі ідентифікації моделей методом послідовних ітерацій отримано значення поправочних коефіцієнтів для розроблених емпіричних моделей.

6. Використання розробленого методу відтворення даних моніторингу засобами емпіричного моделювання значень ґрунтових характеристик еколого-меліоративного стану осушуваних земель дозволяє вирішити дві задачі. Перша з них – це збір і підготовка просторової інформації щодо ґрунтових показників та формування загальної відомчої бази даних, друга – відтворення просторових даних моніторингових спостережень на основі стаціонарних з подальшою візуалізацією та інтерпретацією графічної та атрибутивної моніторингової інформації.



## 5. ПЕРЕВІРКА ТА ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛЕЙ ВІДДТВОРЕННЯ ДАНИХ



### 5.1. Критерії перевірки адекватності емпіричних моделей

Оцінка та перевірка емпіричних моделей, отриманих нами математико-статистичним методом, дає можливість впевнитися у правильності проведених розрахунків, адекватності моделей ґрунтовим процесам, які вони описують, та надійності побудованих моделей [259,257,244,102,57 та ін.]. Інформація, яка використовувалася при створенні емпіричних моделей, з об'єктивних та суб'єктивних причин містить похибки, що виникли при проведенні польових стаціонарних та лабораторних вимірювань значень ґрунтових показників. З іншого боку, об'єктивна складність ґрунтово-меліоративних режимів та процесів формування значень ґрунтових показників у просторі і часі не дозволяє врахувати всі значущі фактори і процеси. Не зважаючи на це, визначені експериментально значення ґрунтових показників (емпіричні значення) можуть розглядатися як база порівняння при їх співставленні з отриманими розрахунковим



шляхом (модельованими) значеннями у відповідних пунктах та у певні моменти часу. Саме у цьому полягає суть процедури верифікації (перевірки) отриманих нами і описаних у попередньому розділі моделей і лише після отримання позитивних результатів перевірки можемо стверджувати, що моделі є адекватними, з достатньою точністю повертають потрібні показники, а тому можуть застосовуватися на практиці – у нашому випадку для потреб відтворення моніторингової інформації.

Для остаточного висновку про те, наскільки отримувані на основі використання вибірок емпіричні моделі відповідають реальним ґрунтовим процесам, ми оцінили точність емпіричних моделей, яка є найважливішою характеристикою надійності. Нині розроблена значна кількість різних статистичних критеріїв оцінки емпіричних моделей [141,153,157,174,245,259]. Нами використано метод оцінки статистичних показників збіжності. Для цього нами розраховувалися і оцінювалися загальностатистичні та специфічні показники збіжності емпіричних (вимірних) та теоретичних (розрахованих за моделями) значень ґрунтових показників. Для перевірки моделей ми застосували: середньоквадратичну похибку  $\sigma_y$ , спеціальний коефіцієнт кореляції  $RS$ , відношення середніх  $BC$  та лінійний коефіцієнт кореляції  $r$  [269] як найбільш придатні для процедури перевірки математичних моделей.

Середньоквадратична похибка  $\sigma_y$  апроксимації модельованими значеннями емпіричних показників, яка показує ступінь їх взаємного відхилення розраховувалася за відомою залежністю

$$\sigma_y = \frac{100\%}{\bar{y}_p} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{p,i} - y_{m,i})^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (5.1)$$

де  $\bar{y}_p$  – середнє арифметичне значення за експериментальною вибіркою;

$n$  – кількість варіант у вибірці;



$y_{p,i}, y_{m,i}$  – експериментальне та модельоване значення ґрунтового показника відповідно.

Даний показник оцінюємо за принципом Колмана. Коли для моделей середньоквадратична похибка апроксимації  $\sigma_y \leq 25\%$  і характер варіацій модельованих та спостережуваних змінних співпадає – вважаємо, що модель адекватно описує характер реальних ґрунтових процесів. При  $\sigma_y > 25\%$  модель вважаємо неприйнятною [269].

Спеціальний коефіцієнт кореляції  $RS$  дозволяє оцінити збіжність модельованих величин з досліджуваними значенням ґрунтових показників і розраховується за формулою [269]



$$RS = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{p,i} y_{m,i} - y_{m,i}^2)}{\sum_{i=1}^n y_{p,i}^2} \quad (5.2)$$

Позначення див. у коментарі до залежності (5.1).

Величину спеціального коефіцієнта кореляції, а отже і якість моделі, оцінюємо за наступною шкалою:

- $1 \geq RS \geq 0,99$  – якість відмінна
- $0,99 \geq RS \geq 0,95$  – якість дуже добра
- $0,95 \geq RS \geq 0,9$  – якість добра
- $0,9 \geq RS \geq 0,85$  – якість досить добра
- $RS \leq 0,85$  – модель незадовільна.

Відношення середніх

$$BC = \frac{\bar{y}_m}{\bar{y}_p} \quad (5.3)$$



дозволяє визначити ступінь зміни значення  $\bar{y}_m$  (середнє арифметичне значення за теоретичною вибіркою) відносно  $\bar{y}_p$  (середнє арифметичне значення за експериментальною вибіркою). Іншими словами, даний показник оцінює на скільки поле розсіювання розрахованих значень збігається з полем розсіювання вимірених значень. Прийнятною вважається модель, для якої відношення середніх знаходиться в межах  $0,75 \leq BC \leq 1,25$ .

Лінійний коефіцієнт кореляції  $r$

$$r = \frac{\overline{y_p y_m} - \bar{y}_p \bar{y}_m}{\sigma_{y_p} \sigma_{y_m}} \quad (5.4)$$

де  $\overline{y_p y_m}$  – середня арифметична добутків експериментальних та розрахункових значень ґрунтових показників;

$\sigma_{y_p}, \sigma_{y_m}$  – стандартні відхилення експериментальних та розрахункових значень ґрунтових показників відповідно:

$$\sigma_{y_p} = \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{p,i} - \bar{y}_p)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5.5)$$

$$\sigma_{y_m} = \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{m,i} - \bar{y}_m)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5.6)$$

Модель вважається неадекватною при  $r \leq 0,3$ , задовільною – при  $0,3 \leq r \leq 0,7$ , надійною – при  $r \geq 0,7$ .

На підставі прийнятих критеріїв оцінки адекватності моделей проведемо верифікацію розроблених нами емпіричних моделей у два етапи: 1) верифікація





за залежними (моніторинговими) даними; 2) верифікація моделей за незалежними (власними) даними.

## 5.2. Перевірка емпіричних моделей за залежними даними моніторингових спостережень

Перший етап перевірки моделей проводився за залежними даними, які були використані нами раніше для побудови емпіричних моделей стосовно окремих ґрунтових відмін (генетико-морфологічних контурів або регіонів). У якості такого роду даних нами було використано дані ґрунтових моніторингових досліджень на типових осушувальних системах.

Збіжність модельованих значень з даними моніторингових досліджень оцінювалася за показниками (5.1-5.4). Значення показників зведено у таблиці 5.1-5.7. В першій графі таблиць позначено функціональні змінні з відповідними індексами моделей, повний вигляд яких наведено у розділі 4.

Таблиця 5.1

Показники якості моделей відтворення показників стану дерново-підзолистих піщаних ґрунтів (за даними ОС «Воробино»)

Модель	Середньоквадратична похибка, $\sigma_y$ , %	Відношення середніх, $BC$	Коефіцієнт кореляції, $r$	Спеціальний коефіцієнт кореляції, $RS$
1	2	3	4	5
За агрохімічними показниками				
$Y_{18}^{NO_3^-}$	20,24	1,06	0,99	0,994
$Y_{19}^{NO_3^-}$	15,54	1,03	0,99	0,997
$Y_{18}^{NH_4^+}$	23,39	0,98	0,97	0,987
$Y_{19}^{NH_4^+}$	20,78	0,94	0,99	0,992
$Y_{18}^{K_2O}$	18,75	1,00	0,99	0,994
$Y_{19}^{K_2O}$	13,52	1,05	1,00	0,997



продовження табл. 5.1

1	2	3	4	5
$Y_{18}^{P_2O_5}$	22,17	0,96	0,99	0,992
$Y_{19}^{P_2O_5}$	22,08	0,93	0,95	0,985
$Y_{18}^{pH_{KCl}}$	8,49	1,03	0,88	0,997
$Y_{19}^{pH_{KCl}}$	11,44	0,99	0,58	0,995
$Y_{18}^{Eh}$	9,54	0,99	0,79	0,996
$Y_{19}^{Eh}$	11,67	0,99	0,79	0,993
$Y_{18}^G$	17,99	1,01	0,97	0,991
$Y_{19}^G$	22,57	1,01	0,96	0,986
За іонами водної витяжки				
$Y_{18}^{K^+Na^+}$	15,55	1,05	0,986	0,993
$Y_{19}^{K^+Na^+}$	19,61	1,04	0,969	0,987
$Y_{18}^{Ca^{2+}}$	8,80	1,02	0,988	0,997
$Y_{19}^{Ca^{2+}}$	10,60	1,04	0,978	0,99
$Y_{18}^{Cl^-}$	15,56	0,95	0,988	0,993
$Y_{19}^{Cl^-}$	14,67	0,94	0,981	0,992
$Y_{18}^{SO_4^{2-}}$	19,32	1,10	0,983	0,989
$Y_{19}^{SO_4^{2-}}$	12,31	1,03	0,988	0,995
$Y_{18}^{HCO_3^-}$	10,37	0,98	0,960	0,995
$Y_{19}^{HCO_3^-}$	11,59	1,01	0,982	0,993

Як видно з табл. 5.1 за результатами просторового моделювання агрохімічних показників дерново-підзолистого піщаного ґрунту (ОС «Воробино») емпіричні моделі мають високий рівень збіжності, про що свідчать високі значення лінійного коефіцієнта кореляції  $r$  та низькі стандартні похибки ( $\sigma_y = 9,5 \div 22\%$ ). Спеціальний коефіцієнт кореляції ( $RS \geq 0,98$ ) та відношення середніх  $BC$  характеризують моделі як «дуже добрі».

Оцінка якості емпіричних моделей, отриманих за даними концентрацій іо-



нів ґрунтового розчину дерново-підзолистих піщаних осушуваних ґрунтів (ОС «Воробино»), також показує високий рівень адекватності розроблених моделей.

Для тих самих ґрунтів, але в умовах південного Полісся (ОС «Деражне-Постійне») нами проведена аналогічна оцінка: за агрохімічними показниками та показниками концентрації іонів водної витяжки (табл. 5.2).

Таблиця 5.2

Показники якості моделей відтворення показників стану  
дерново-підзолистих піщаних ґрунтів (за даними ОС «Деражне-Постійне»)

Модель	Середньоквадратична похибка, $\sigma_y$ , %	Відношення середніх, $BC$	Коефіцієнт кореляції, $r$	Спеціальний коефіцієнт кореляції, $RS$
1	2	3	4	5
За агрохімічними показниками				
$Y_{44}^{NO_3^-}$	18,91	0,96	0,99	0,993
$X_{51}^{NO_3^-}$	21,83	0,90	0,99	0,991
$Y_{84}^{NO_3^-}$	24,75	0,97	0,99	0,989
$Y_{44}^{NH_4^+}$	18,57	1,00	0,98	0,993
$Y_{51}^{NH_4^+}$	23,71	1,03	0,98	0,991
$Y_{84}^{NH_4^+}$	19,48	1,05	0,97	0,988
$Y_{44}^{K_2O}$	18,40	0,96	1,00	0,996
$Y_{51}^{K_2O}$	14,10	0,97	1,00	0,997
$Y_{84}^{K_2O}$	15,28	1,01	1,00	0,997
$Y_{44}^{P_2O_5}$	23,21	0,98	0,98	0,990
$Y_{51}^{P_2O_5}$	20,51	1,02	0,96	0,981
$Y_{84}^{P_2O_5}$	23,02	1,03	0,98	0,993
$Y_{44}^{pH_{KCl}}$	16,46	1,00	0,22	0,990
$Y_{51}^{pH_{KCl}}$	19,31	1,00	0,19	0,987
$Y_{84}^{pH_{KCl}}$	24,24	1,00	0,03	0,978
$Y_{44}^{Eh}$	9,89	0,99	0,47	0,991
$Y_{51}^{Eh}$	7,23	1,09	0,96	0,994



продовження табл. 5.2

1	2	3	4	5
$Y_{84}^{Eh}$	8,14	1,10	0,96	0,995
$Y_{44}^G$	22,73	0,95	0,97	0,988
$Y_{51}^G$	14,79	1,03	0,98	0,993
$Y_{84}^G$	23,50	0,99	0,97	0,991
За іонами водної витяжки				
$Y_{44}^{K+Na^+}$	20,30	0,97	0,97	0,980
$Y_{51}^{K+Na^+}$	13,88	0,97	0,98	0,990
$Y_{44}^{Ca^{2+}}$	19,24	1,04	0,97	0,990
$Y_{51}^{Ca^{2+}}$	14,55	0,96	0,97	0,990
$Y_{44}^{Cl^-}$	14,25	1,06	0,98	0,990
$Y_{51}^{Cl^-}$	12,17	1,02	0,99	0,990
$Y_{44}^{SO_4^{2-}}$	12,49	1,07	0,99	0,990
$Y_{51}^{SO_4^{2-}}$	21,46	1,03	0,97	0,980
$Y_{44}^{HCO_3^-}$	17,75	1,06	0,93	0,980
$Y_{51}^{HCO_3^-}$	17,23	1,01	0,99	0,990

Всі запропоновані моделі забезпечують достатній рівень збіжності з оригіналом. Найкращими, як і для дерново-підзолистих ґрунтів ОС «Воробино», виявилися математичні моделі отримані за даними про окисно-відновний потенціал, що пояснюється широким діапазоном варіації останнього. Для  $pH_{KCl}$  та показників вмісту азоту незважаючи на високі значення спеціального коефіцієнта кореляції, що характеризує моделі як досить добрі, середньоквадратична похибка моделей є суттєвою, хоча й не перевищує порогове значення ( $\sigma < 25\%$ ).

Значення статистичних показників верифікації математичних моделей відтворення даних, розроблених для дерново-підзолистого піщаного ґрунту центральної частини Західного Полісся України за даними моніторингових спостережень на ОС «Язвинка» наведені в таблиці 5.3.



Таблиця 5.3

Показники якості моделей відтворення показників стану  
дерново-підзолистих піщаних ґрунтів (за даними ОС «Язвинка»)

Модель	Середньоквадратична похибка, $\sigma_y$ , %	Відношення середніх, $BC$	Коефіцієнт кореляції, $r$	Спеціальний коефіцієнт кореляції, $RS$
1	2	3	4	5
За агрохімічними показниками				
$Y_{10}^{NO_3^-}$	19,19	0,99	0,99	0,993
$Y_{62}^{NO_3^-}$	22,21	0,93	0,99	0,992
$Y_1^{NO_3^-}$	23,46	1,05	0,99	0,991
$Y_{10}^{NH_4^+}$	17,52	1,04	0,98	0,993
$Y_{62}^{NH_4^+}$	20,19	1,01	0,97	0,990
$Y_1^{NH_4^+}$	24,00	1,05	0,98	0,989
$Y_{10}^{K_2O}$	21,84	0,97	0,97	0,988
$Y_{62}^{K_2O}$	24,59	1,01	0,99	0,996
$Y_1^{K_2O}$	17,38	1,08	0,97	0,985
$Y_{10}^{P_2O_5}$	24,63	1,05	0,98	0,987
$Y_{62}^{P_2O_5}$	4,13	0,96	1,00	0,999
$Y_1^{P_2O_5}$	21,45	1,01	0,99	0,998
$Y_{10}^{pH_{KCl}}$	14,32	0,95	0,74	0,993
$Y_{62}^{pH_{KCl}}$	12,44	1,23	0,67	0,994
$Y_1^{pH_{KCl}}$	16,20	1,35	0,83	0,990
$Y_{10}^{Eh}$	12,13	0,99	0,82	0,993
$Y_{62}^{Eh}$	8,29	1,00	0,85	0,996
$Y_1^{Eh}$	21,76	0,93	0,12	0,981
$Y_{10}^G$	20,13	1,02	0,99	0,993
$Y_{62}^G$	18,51	0,98	0,98	0,989
$Y_1^G$	13,13	1,00	0,99	0,998



продовження табл. 5.3

1	2	3	4	5
За іонами водної витяжки				
$Y_{10}^{K^{+}+Na^{+}}$	16,04	0,99	0,98	0,991
$Y_{62}^{K^{+}+Na^{+}}$	24,87	1,04	0,96	0,984
$Y_{10}^{Ca^{2+}}$	16,67	1,09	0,97	0,989
$Y_{62}^{Ca^{2+}}$	22,96	1,11	0,98	0,989
$Y_{10}^{Cl^{-}}$	16,60	1,07	0,98	0,991
$Y_{62}^{Cl^{-}}$	22,41	1,07	0,99	0,988
$Y_{10}^{SO_4^{2-}}$	15,01	1,06	0,98	0,992
$Y_{62}^{SO_4^{2-}}$	12,05	1,06	0,99	0,995
$Y_{10}^{HCO_3^{-}}$	11,71	0,97	0,99	0,995
$Y_{62}^{HCO_3^{-}}$	19,08	1,10	0,99	0,995

Як бачимо з таблиці 5.4, емпіричні моделі, що описують процеси просторової мінливості властивостей дерново-підзолистих піщаних ґрунтів центральної частини Західного Полісся, є прийнятними за всіма критеріями. Про це свідчать високі значення лінійного коефіцієнта кореляції, спеціального коефіцієнта кореляції, незначне відхилення середніх. Не надто, але досить високою є у даних умовах, як і у попередніх, середньоквадратична похибка майже за всіма показниками. Це, імовірно, незважаючи на застосовувану двовимірну регресію, є свідченням недостатнього врахування локальних умов формування фізико-хімічних властивостей легких мінеральних ґрунтів. Хоча, з іншого боку, високі значення  $\sigma$  є, безумовно, наслідком низьких концентрацій більшості показників, що впливає з генетико-морфологічної природи дерново-підзолистих ґрунтів легкого гранулометричного складу.

Для сірих лісових ґрунтів важкого гранулометричного складу, які є досить типовими в умовах північного лісостепу (типова ОС «Головниця»), значення показників перевірки наведено в таблиці 5.4.



Таблиця 5.4

Показники якості моделей відтворення показників стану  
сірих лісових середньосуглинкових ґрунтів (за даними ОС «Головниця»)

Модель	Середньоквадратична похибка, $\sigma_y$ , %	Відношення середніх, $BC$	Коефіцієнт кореляції, $r$	Спеціальний коефіцієнт кореляції, $RS$
1	2	3	4	5
За агрохімічними показниками				
$Y_1^{NO_3^-}$	25,77	0,904	0,99	0,986
$Y_{12}^{NO_3^-}$	17,59	1,026	0,97	0,978
$Y_{10}^{NO_3^-}$	14,84	1,057	0,96	0,997
$Y_1^{NH_4^+}$	18,75	0,978	0,98	0,993
$Y_{12}^{NH_4^+}$	23,83	1,039	0,97	0,988
$Y_{10}^{NH_4^+}$	24,07	1,065	0,97	0,987
$Y_1^{K_2O}$	11,68	0,991	1,00	0,997
$Y_{12}^{K_2O}$	10,97	1,034	1,00	0,998
$Y_{10}^{K_2O}$	14,50	1,082	0,98	0,988
$Y_1^{P_2O_5}$	14,47	1,005	0,99	0,996
$Y_{12}^{P_2O_5}$	23,36	0,964	0,99	0,997
$Y_{10}^{P_2O_5}$	13,13	1,049	0,97	0,984
$Y_1^{pH_{KCl}}$	4,29	0,998	0,80	0,999
$Y_{12}^{pH_{KCl}}$	4,77	1,001	0,76	0,999
$Y_{10}^{pH_{KCl}}$	8,78	1,003	0,61	0,997
$Y_1^{Eh}$	2,98	0,999	0,95	0,999
$Y_{12}^{Eh}$	1,21	1,000	0,99	1,000
$Y_{10}^{Eh}$	1,85	1,000	0,98	1,000
$Y_1^G$	22,16	0,982	0,94	0,986
$Y_{12}^G$	16,96	0,964	0,94	0,987
$Y_{10}^G$	19,00	0,980	0,97	0,993



продовження табл. 5.4

1	2	3	4	5
За іонами водної витяжки				
$Y_1^{K^++Na^+}$	16,61	1,06	0,979	0,991
$Y_{12}^{K^++Na^+}$	22,48	1,02	0,967	0,985
$Y_{10}^{K^++Na^+}$	16,62	0,93	0,984	0,992
$Y_1^{Ca^{2+}}$	15,44	1,00	0,92	0,990
$Y_{12}^{Ca^{2+}}$	16,83	0,99	0,96	0,990
$Y_{10}^{Ca^{2+}}$	10,29	0,98	0,99	0,996
$Y_1^{Cl^-}$	13,00	1,03	0,983	0,994
$Y_{12}^{Cl^-}$	14,38	1,05	0,977	0,993
$Y_{10}^{Cl^-}$	14,09	0,98	0,988	0,994
$Y_1^{SO_4^{2-}}$	17,94	1,09	0,99	0,991
$Y_{12}^{SO_4^{2-}}$	17,21	1,08	0,98	0,991
$Y_{10}^{SO_4^{2-}}$	17,47	0,98	0,96	0,989
$Y_1^{HCO_3^-}$	17,29	1,02	0,98	0,990
$Y_{12}^{HCO_3^-}$	15,04	1,08	0,98	0,992
$Y_{10}^{HCO_3^-}$	14,20	0,97	0,98	0,993

Імітаційна здатність даної групи моделей є дещо вищою, ніж у двох попередніх, з причини вищих абсолютних значень змінних. Відмінної якості за всіма показниками є моделі стану осушуваних сірих лісових ґрунтів, отримані за даними  $pH_{KCl}$  та  $Eh$ . Середньоквадратичні похибки даних моделей не перевищують 3 %. Для  $pH_{KCl}$ -моделей просторовий зв'язок між величинами кислотності, визначеними на різних стаціонарах, проявляється слабше ( $r = 0,5 \div 0,81$ ). Середньоквадратична похибка менша ніж 10 %, що є надзвичайно високим показником. Решта моделей (у першу чергу за високими значеннями коефіцієнта кореляції, спеціального коефіцієнта кореляції та відношення середніх), а особливо моделі для показників іонного складу водної витяжки, показників  $K_2O$ ,





$P_2O_5$  та органічної речовини, є цілком придатними для відтворення з достатньою для практики точністю значень ґрунтових показників.

Значна кількість осушуваних земель Західного Лісостепу України, створених на місці заплавної боліт і заболочених територій, представлена торфво-болотними карбонатними ґрунтами з високим рівнем потенційної родючості. Результати перевірки моделей, розроблених нами для даних ґрунтів, наведено у табл. 5.5.

Таблиця 5.5

Показники якості моделей відтворення показників стану торфво-болотних карбонатних ґрунтів (за даними ОС «Стубелка»)

Модель	Середньоквадратична похибка, $\sigma_y$ , %	Відношення середніх, $BC$	Коефіцієнт кореляції, $r$	Спеціальний коефіцієнт кореляції, $RS$
1	2	3	4	5
За агрохімічними показниками				
$Y_{32}^{NO_3^-}$	21,21	0,959	0,99	0,990
$Y_{41}^{NO_3^-}$	21,85	1,077	0,98	0,988
$Y_{32}^{NH_4^+}$	20,53	1,025	0,98	0,989
$Y_{41}^{NH_4^+}$	18,37	1,022	0,99	0,992
$Y_{32}^{K_2O}$	11,48	1,043	1,00	0,998
$Y_{41}^{K_2O}$	13,41	0,963	1,00	0,997
$Y_{32}^{P_2O_5}$	12,72	1,007	0,99	0,996
$Y_{41}^{P_2O_5}$	24,16	1,001	0,95	0,982
$Y_{32}^{pH_{KCl}}$	3,43	0,997	0,90	0,999
$Y_{41}^{pH_{KCl}}$	3,79	1,002	0,90	0,999
$Y_{32}^{Eh}$	2,11	1,000	0,99	1,000
$Y_{41}^{Eh}$	2,06	1,000	0,99	1,000
За іонами водної витяжки				
$Y_{32}^{K^+ + Na^+}$	16,02	1,07	0,99	0,994



продовження табл. 5.5

1	2	3	4	5
$Y_{41}^{K^+ + Na^+}$	14,10	1,02	0,98	0,994
$Y_{32}^{Ca^{2+}}$	9,99	1,00	0,99	0,996
$Y_{41}^{Ca^{2+}}$	12,35	1,03	0,97	0,994
$Y_{32}^{Cl^-}$	11,41	1,01	0,99	0,996
$Y_{41}^{Cl^-}$	15,03	1,03	0,97	0,992
$Y_{32}^{SO_4^{2-}}$	20,00	1,00	0,98	0,990
$Y_{41}^{SO_4^{2-}}$	18,69	1,05	0,98	0,989
$Y_{32}^{HCO_3^-}$	12,16	1,00	0,96	0,994
$Y_{41}^{HCO_3^-}$	9,71	1,01	0,99	0,997

Як і у багатьох попередніх випадках, всі моделі даної групи за значеннями коефіцієнта кореляції, спеціального коефіцієнта кореляції та відношення середніх є відмінними. Деякі емпіричні моделі, розроблені для осушуваних торфвоболотних карбонатних ґрунтів (ОС «Стубелка») дають надзвичайно високу збіжність з емпіричними даними, про що свідчить середньоквадратична похибка апроксимації, яка у даному випадку знаходиться в діапазоні 2,06-9,99 %. У даному випадку похибка моделювання не перевищує допустимих похибок при лабораторних визначеннях більшості показників як за даними ОС «Стубелка», так і за даними інших об'єктів моніторингу. Це дозволяє використовувати запропоновані моделі для оцінки стану досліджуваного осушуваного ґрунту. Моделі за іншими агрохімічними показниками дають похибки дещо вищі, однак цілком прийнятні при проведенні експериментів (Додаток 2).

Особливе місце у структурі меліорованого ґрунтового покриву північного лісостепу України займають нехарактерні для осушуваних, але досить типові для прилеглих земель сірі лісові ґрунти. Ґрунти даного типу є досить складним об'єктом моделювання через ознаки гідроморфності, складність вертикальної будови та територіальну строкатість фізико-хімічних властивостей. Імовірно



саме тому деякі емпіричні моделі ( $Y_{18}^{NH_4^+}$  та  $Y_{18}^G$ ) відтворюють дані з незначним перевищенням нормативних середньоквадратичних похибок (табл. 5.6).

Таблиця 5.6

Показники якості моделей відтворення показників стану  
сірих лісових важкосуглинкових карбонатних ґрунтів (за даними ОС «Іква»)

Мо- дель	Середньоквадратична похибка, $\sigma_y$ , %	Відношення се- редніх, $BC$	Коефіці- єнт коре- ляції, $r$	Спеціальний коефіцієнт кореляції, $RS$
1	2	3	4	5
За агрохімічними показниками				
$Y_1^{NO_3^-}$	24,35	0,941	0,999	0,997
$Y_{18}^{NO_3^-}$	20,22	1,025	0,995	0,996
$Y_1^{NH_4^+}$	21,55	1,003	0,985	0,994
$Y_{18}^{NH_4^+}$	25,05	1,013	0,981	0,992
$Y_1^{K_2O}$	8,86	1,023	0,999	0,999
$Y_{18}^{K_2O}$	22,78	1,051	0,995	0,996
$Y_1^{P_2O_5}$	16,42	1,008	0,996	0,997
$Y_{18}^{P_2O_5}$	15,34	0,960	0,998	0,998
$Y_1^{pH_{KCl}}$	6,46	0,996	0,882	0,999
$Y_{18}^{pH_{KCl}}$	6,10	1,005	0,877	0,999
$Y_1^{Eh}$	6,15	0,999	0,946	0,999
$Y_{18}^{Eh}$	6,01	0,999	0,946	0,999
$Y_1^G$	19,35	0,996	0,984	0,994
$Y_{18}^G$	25,91	0,973	0,970	0,990
За іонами водної витяжки				
$Y_1^{K^++Na^+}$	10,37	1,02	1,00	0,998
$Y_{18}^{K^++Na^+}$	12,06	1,01	0,98	0,995
$Y_1^{Ca^{2+}}$	8,22	0,99	0,98	0,997
$Y_{18}^{Ca^{2+}}$	15,44	1,05	0,99	0,995
$Y_1^{Cl^-}$	21,52	1,08	0,98	0,986



продовження табл. 5.6

1	2	3	4	5
$Y_{18}^{Cl^-}$	16,23	1,08	0,99	0,995
$Y_1^{SO_4^{2-}}$	17,73	1,04	0,99	0,995
$Y_{18}^{SO_4^{2-}}$	18,77	1,04	0,97	0,988
$Y_1^{HCO_3^-}$	16,00	1,08	0,98	0,991
$Y_{18}^{HCO_3^-}$	20,35	1,04	0,97	0,986

Окремі моделі повертають значення з похибками близькими до критичних (див. табл. 5.6). Не зважаючи на це дані моделі разом з рештою розроблених нами моделей стосовно даного ґрунту можуть бути рекомендованими для практичного застосування оскільки добре імітують реальні процеси просторової динаміки і за рештою показників характеризуються як моделі відмінної якості.

Унікальними ґрунтами, які утворилися в умовах заплавних боліт у межах лісостепу України є торфово-болотні та лучно-болотні органогенні карбонатні ґрунти. Дані ґрунтові різновиди зазнали суттєвої трансформації внаслідок осушення і подальшої експлуатації зберігши при цьому високий агрохімічний потенціал. Значення статистичних показників верифікації моделей стосовно даної ґрунтової відміни наведені у табл. 5.7).

Таблиця 5.7

Показники якості моделей відтворення показників стану  
заплавних торфово-болотних карбонатних ґрунтів (за даними ОС «Іква»)

Мо- дель	Середньоквадрати- чна похибка, $\sigma_y$ , %	Відношен- ня серед- ніх, $BC$	Коефіці- єнт коре- ляції, $r$	Спеціальний коефіцієнт кореляції, $RS$
1	2	3	4	5
За агрохімічними показниками				
$Y_{26}^{NO_3^-}$	20,24	0,925	0,980	0,989
$Y_{12}^{NO_3^-}$	20,28	0,996	0,979	0,988



продовження табл. 5.7

1	2	3	4	5
$Y_{26}^{NH_4^+}$	20,31	0,905	0,985	0,989
$Y_{12}^{NH_4^+}$	22,09	0,921	0,986	0,987
$Y_{26}^{K_2O}$	19,98	0,952	0,992	0,994
$Y_{12}^{K_2O}$	24,45	0,976	0,982	0,989
$Y_{26}^{P_2O_5}$	19,35	0,955	0,990	0,993
$Y_{12}^{P_2O_5}$	9,65	0,991	0,997	0,998
$Y_{26}^{pH_{KCl}}$	5,27	0,999	0,759	0,999
$Y_{12}^{pH_{KCl}}$	5,71	0,998	0,756	0,998
$Y_{26}^{Eh}$	3,66	0,999	0,972	0,999
$Y_{12}^{Eh}$	3,44	1,000	0,973	0,999

Значення середньоквадратичної похибки для моделей стану торфво-болотних ґрунтів ОС «Іква» (табл. 5.7), отримані за даними рН та Eh, є традиційно низькими і становлять  $\sigma=3,4-9,7$  %. Ці моделі є найкращими щодо збіжності відтворених даних. Для решти ґрунтових показників високий ступінь варіацій їхніх значень призводить до підвищення середньоквадратичних похибок при моделюванні, однак вони не перевищують допустимих меж. Адекватність всіх моделей підтверджуються відношенням середніх, коефіцієнтом кореляції та спеціальним коефіцієнтом кореляції.

Слід зазначити, що у процесі розрахунку значень показників за моделями при порівнянні даних, отриманих на різних моніторингових стаціонарах одного типу, поправка  $\mu$  не вводилася з міркувань забезпечення жорстких умов першого етапу верифікації. Застосування поправочних коефіцієнтів на практиці дасть змогу суттєво підвищити збіжність моделей з оригіналом.

З наведеного вище аналізу результатів першого етапу верифікації емпіричних моделей відтворення даних про стан осушуваних ґрунтів впливає, що моделі є адекватними процесам просторової мінливості властивостей ґрунтового покриву осушуваних земель західного Полісся і Лісостепу. Всі розроблені моделі екстраполяції властивостей ґрунтів можуть бути рекомендованими до застосування для потреб відтворення просторових моніторингових даних.



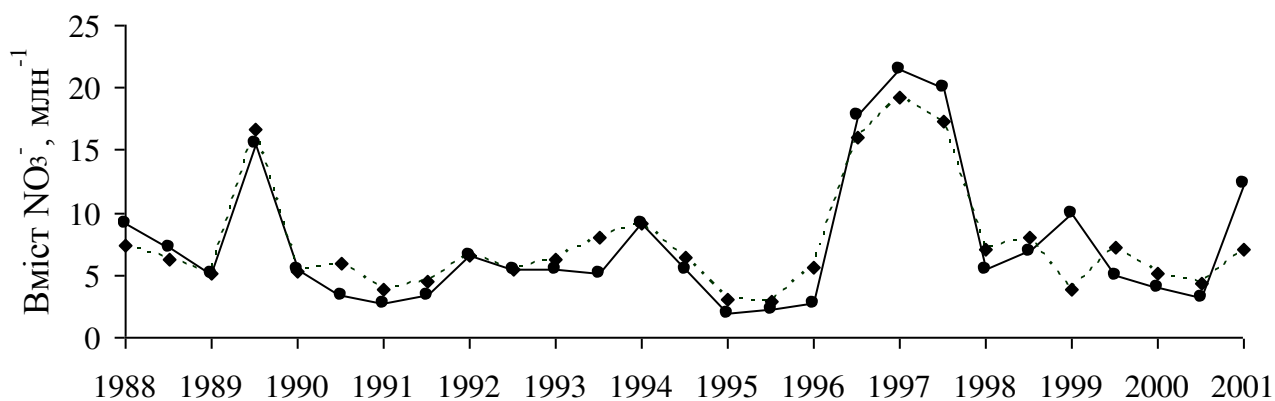
Найбільш адекватні моделі для всіх досліджуваних ґрунтів вдалося отримати для показників кислотності та окисно-відновного потенціалу. Їхня якість та ефективність підтверджується високими значеннями репрезентативних критеріальних показників оцінки моделей, а саме: лінійного коефіцієнта кореляції, спеціального коефіцієнта кореляції, відношення середніх та середньоквадратичної похибки моделювання. Емпіричні моделі, побудовані на основі інших агрохімічних та іонних показників, виявились також цілком придатними для опису реальних просторових закономірностей ґрунтового покриття, хоча їхні середньоквадратичні похибки моделювання є дещо вищими. Це зумовлено передусім значною просторовою варіацією значень досліджуваних показників, спричиною мінливістю мікрокліматичних особливостей, водного режиму земель, напрямами та інтенсивністю сільськогосподарського освоєння та використання досліджуваних ґрунтів, іншими природними та антропогенними чинниками.

Збіжність модельованих та експериментальних значень ґрунтових змінних при перевірці моделей може бути наочно оцінена за допомогою графічних методів. На рис. 5.1-5.6 наведено вибрані результати оцінки моделей екстраполяції даних на основі порівняння модельованих та емпіричних динамічних рядів, визначених для одного з найбільш лабільних ґрунтових показників, а тому складного для моделювання, азоту нітратного ( $\text{NO}_3^-$ ) у різних за типологією та розташуванням ґрунтах. Положення всіх графіків динаміки модельованих величин на фоні їхніх експериментальних відповідників, як і застосовані вище статистичні критерії перевірки, засвідчують високий рівень збіжності модельованих значень з емпіричними, високу чутливість моделей у просторі і часі, а отже й достатній ступінь адекватності розроблених нами моделей.

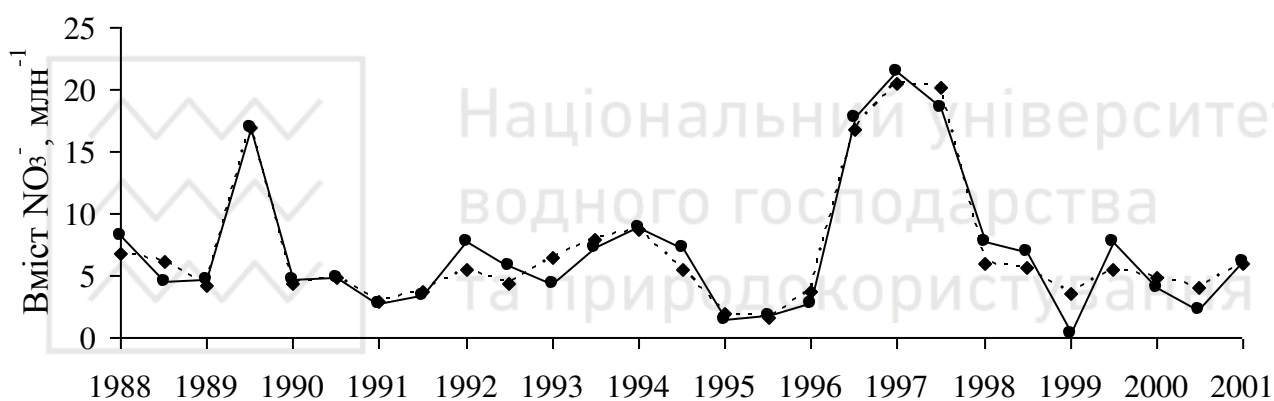
### **5.3. Перевірка моделей на незалежних даних**

З метою перевірки можливості екстраполяції даних моніторингових спостережень на неконтрольовані території осушуваних масивів при вирішенні практичних завдань нами проводилася перевірка надійності емпіричних моделей за незалежними даними. Для цього було проведено серію спеціальних ґрунтових польових досліджень за наступною методикою:

а) вміст  $\text{NO}_3^-$ , стаціонар 1 ОС "Головниця"



б) вміст  $\text{NO}_3^-$ , стаціонар 10 ОС "Головниця"



в) вміст  $\text{NO}_3^-$ , стаціонар 12 ОС "Головниця"

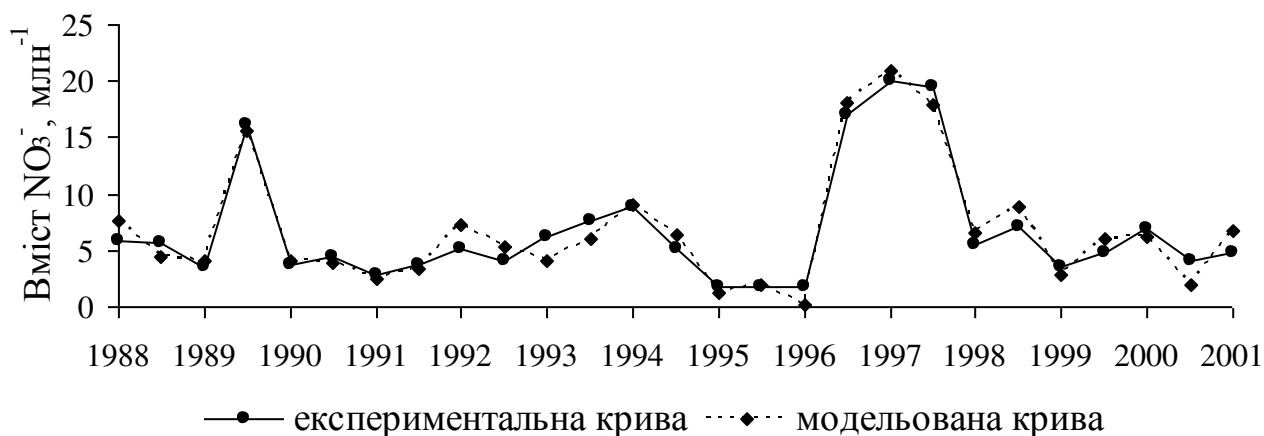
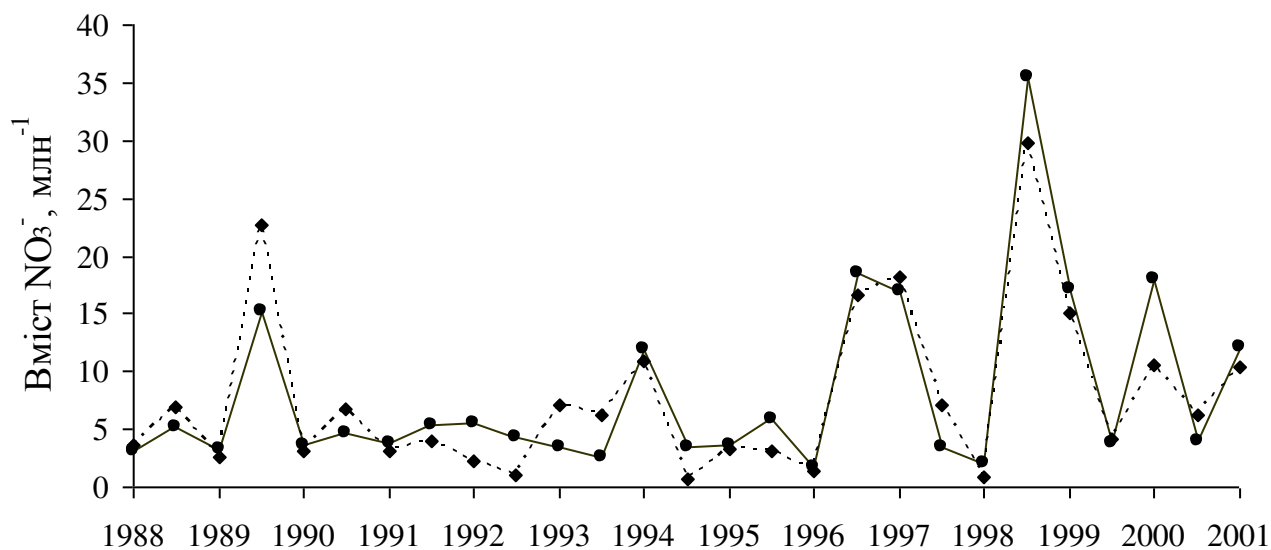


Рис. 5.1. Експериментальна та модельована криві динаміки нітратного азоту ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{мг л}^{-1}$ ) в сірих лісових осушуваних ґрунтах ОС «Головниця»

г) вміст  $\text{NO}_3^-$ , стаціонар 1 ОС "Іква"



д) вміст  $\text{NO}_3^-$ , стаціонар 18 ОС "Іква"

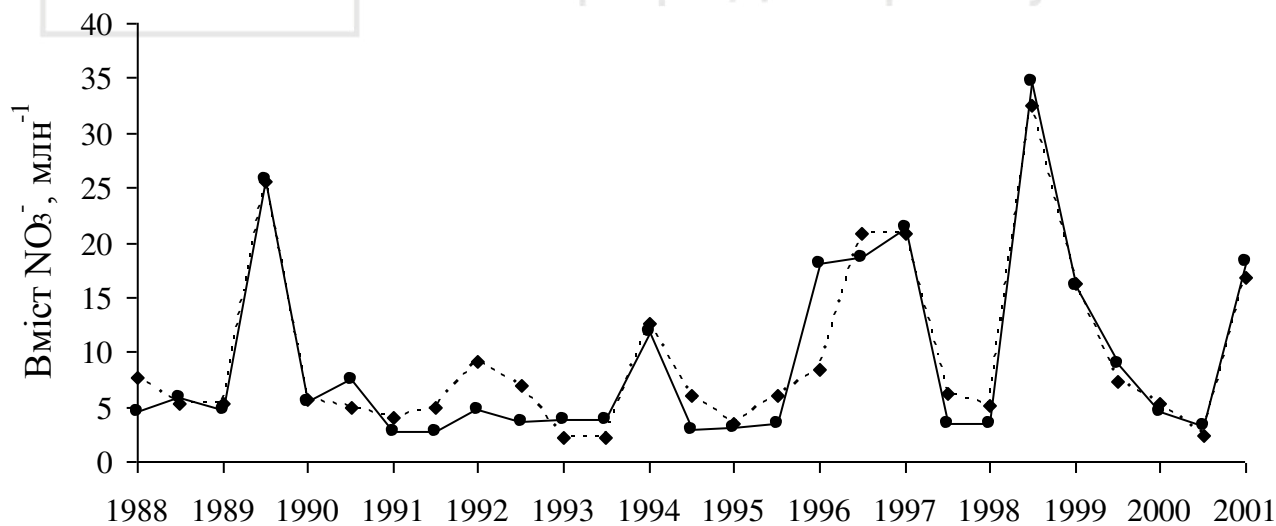
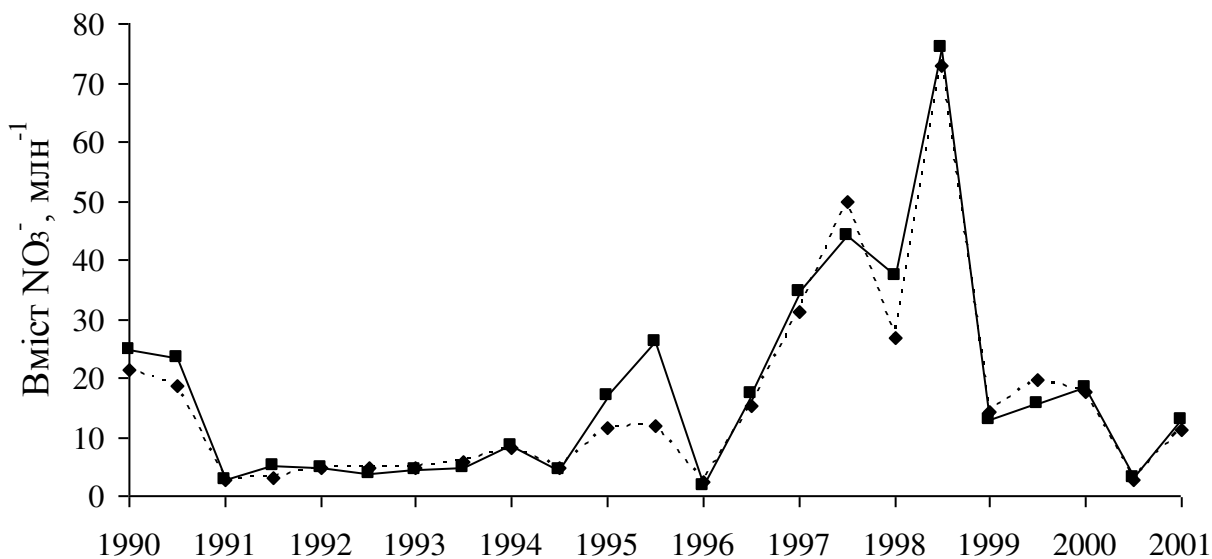


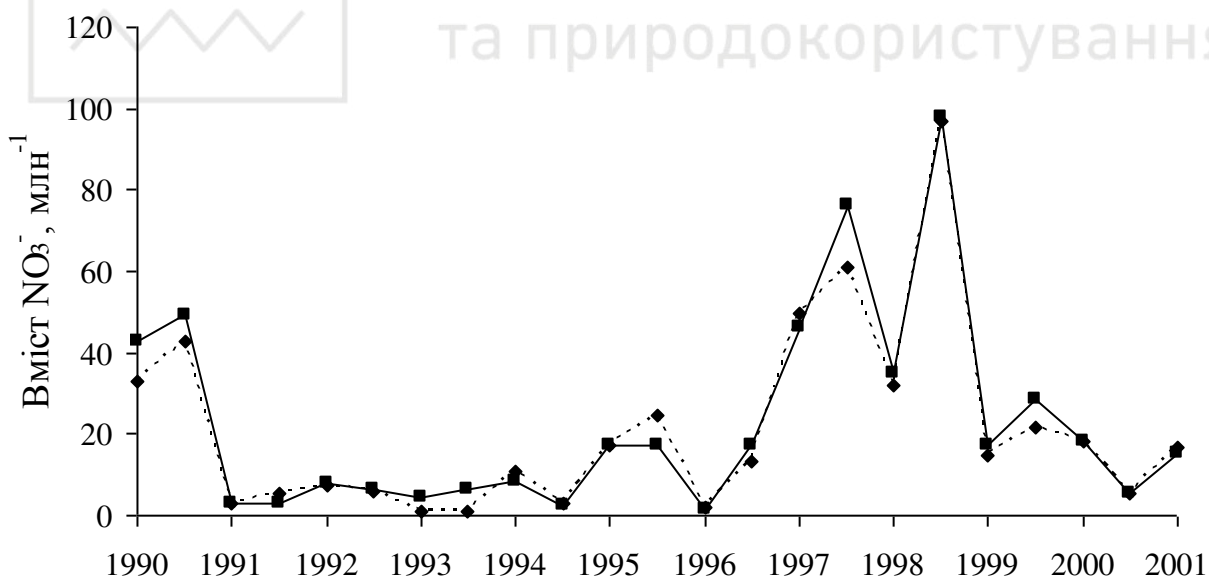
Рис. 5.2. Експериментальна та модельована криві динаміки нітратного азоту ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{мг л}^{-1}$ ) в сірих лісових осушуваних ґрунтах ОС «Іква»



е) вміст  $\text{NO}_3^-$ , стаціонар 32 ОС "Стубелка"



ж) вміст  $\text{NO}_3^-$ , стаціонар 41 ОС "Стубелка"

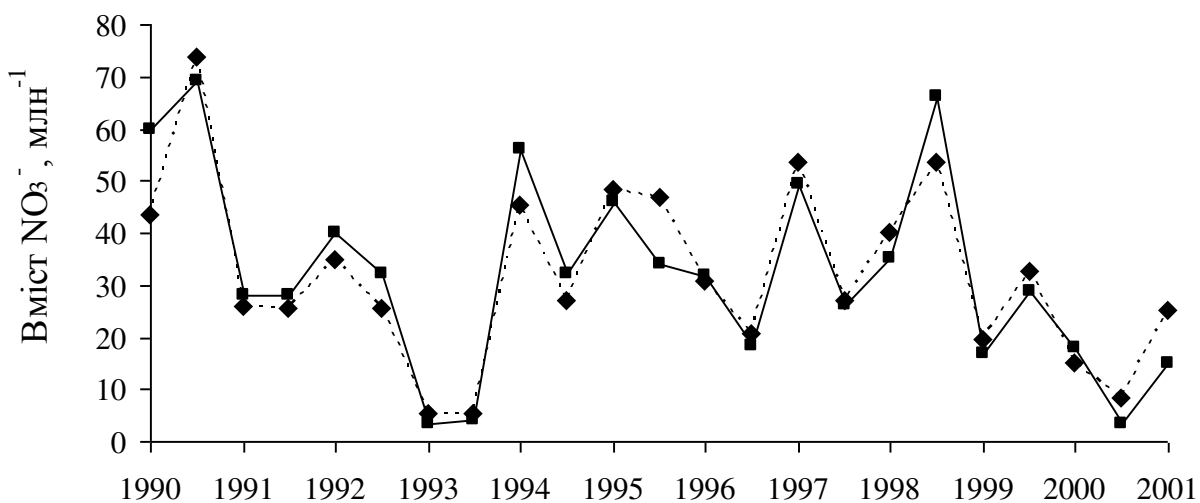


експериментальна крива    
 

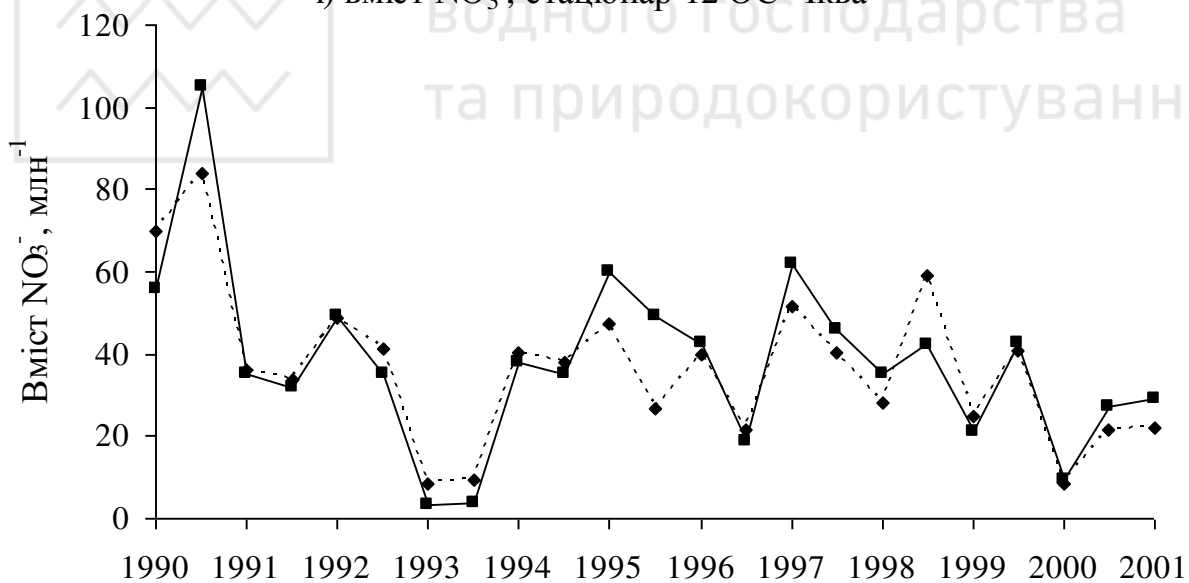
 модельована крива

Рис. 5.3. Експериментальна та модельована криві динаміки нітратного азоту ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{мг л}^{-1}$ ) в торфових і торфово-болотних осушуваних ґрунтах ОС «Стубелка»

з) вміст  $\text{NO}_3^-$ , стаціонар 26 ОС "Іква"



і) вміст  $\text{NO}_3^-$ , стаціонар 12 ОС "Іква"



—■— експериментальна крива    ···◆··· модельована крива

Рис. 5.4. Експериментальна та модельована криві динаміки нітратного азоту ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{млн}^{-1}$ ) в торфових і торфово-болотних осушуваних ґрунтах ОС «Іква»

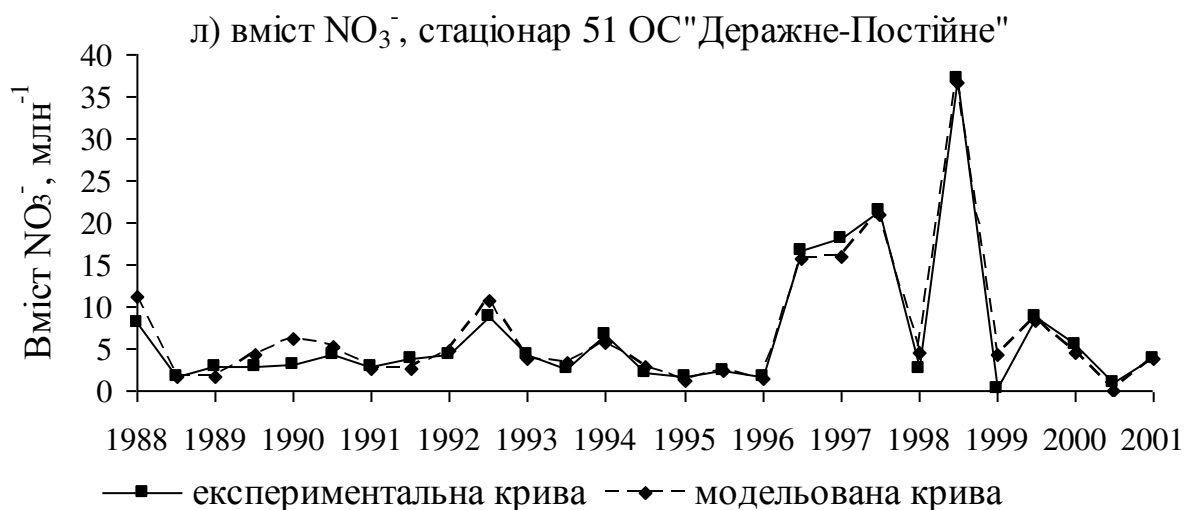
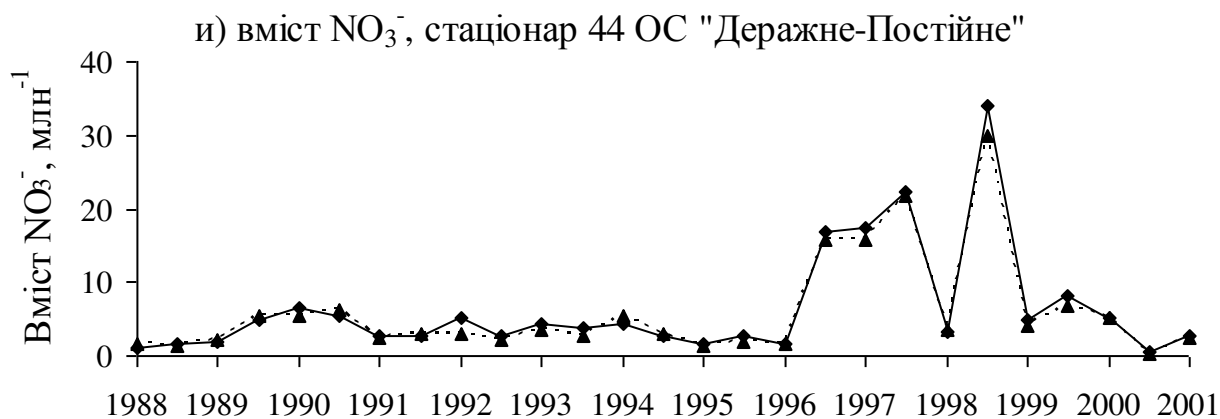
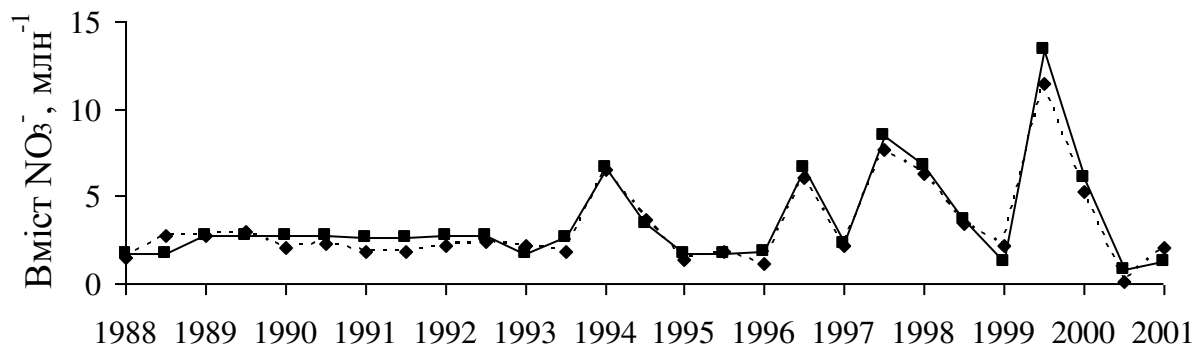
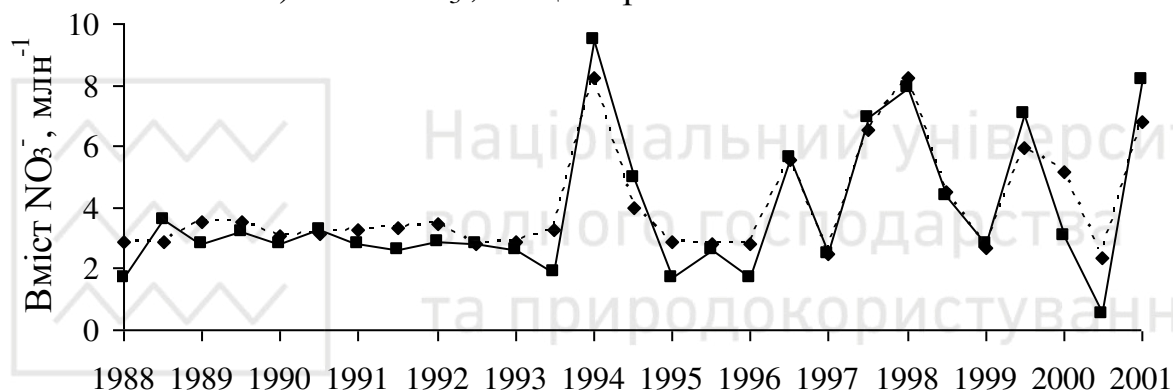


Рис. 5.5. Експериментальна та модельована криві динаміки нітратного азоту ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{мг л}^{-1}$ ) в дерново-підзолистих піщаних та супіщаних ґрунтах ОС «Деражне-Постійне»

м) вміст  $\text{NO}_3^-$ , стаціонар 10 ОС "Язвинка"



н) вміст  $\text{NO}_3^-$ , стаціонар 62 ОС "Язвинка"



о) вміст  $\text{NO}_3^-$ , стаціонар 1 ОС "Язвинка"

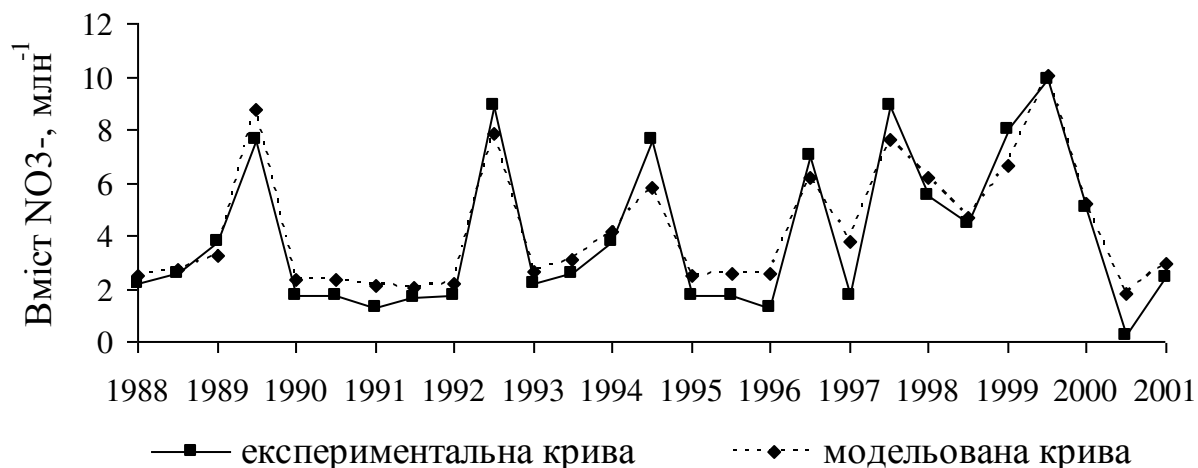


Рис. 5.6. Експериментальна та модельована криві динаміки нітратного азоту ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{мг л}^{-1}$ ) в дерново-підзолистих піщаних та супіщаних ґрунтах ОС «Язвинка»



1. На найбільш типових ділянках осушуваних еталонних систем у межах відповідного генетично-типологічного ґрунтового контуру, що відповідає конкретному моніторинговому стаціонару в радіусі 200-1000 м від нього закладалися прикопки. Місцезнаходження пунктів відбору зразків проектувалися з таким розрахунком, щоб вони відрізнялися за місцевими умовами та способом використання в сільському господарстві (напрямом використання, способом обробітку ґрунту, сільськогосподарською культурою, нормами внесення добрив, рівнем ґрунтових вод тощо).

2. Зразки ґрунтів відбирали з орного шару ґрунту (0-0,3 м) за стандартними методиками. Кількість прикопок становила 9-12 (залежно від площі, що займає досліджуваний тип ґрунту) для кожного моніторингового стаціонару.

3. Лабораторні агрохімічні дослідження та наліз водної витяжки виконувалися за прийнятими у підрозділах гідрогеолого-меліоративної служби стандартними методиками.

Розглянемо приклад розрахунку вмісту рухомого фосфору ( $P_2O_5$ ) в дерново-підзолистому ґрунті на землях осушувальної системи «Деражне-Постійне» за даними польових досліджень, проведених нами у 2001 році (табл. 5.8):

Для розрахунку модельованих значень вмісту рухомих фосфатів ( $P_2O_5$ , мг/кг) скористаємося емпіричними моделями (див. розділ 4), розробленими для дерново-підзолистого ґрунту ОС «Деражне-Постійне» (див. табл. 4.2):

$$Y_{44} = 2,515 + 0,407X_{84} + 0,013X_{51}$$

$$Y_{51} = 4,201 + 0,007X_{44} + 0,035X_{84}$$

$$Y_{84} = 2,377 + 0,051X_{51} + 0,329X_{44}$$

1. У якості робочої обираємо модель для такого ґрунтового стаціонару, до якого досліджувана точка знаходилася найближче, оскільки умови формування ґрунтових показників та фактори впливу для даної точки у порівнянні з іншими ґрунтовими стаціонарами є найбільш подібними. Згідно з картою розташування



точок спостережень (додаток В) точки 1,2,6,9 знаходяться ближче до стаціонару 84 (точка 8), тому для розрахунку використовуємо модель  $Y_{84}=2,377+0,051X_{51}+0,329X_{44}$ , а для точок 3,4,5, які розташовані в околицях стаціонару 44, модель  $Y_{44}=2,515+0,407X_{84}+0,013X_{51}$ .

2. З метою врахування місцевих факторів впливу на формування значень  $P_2O_5$  вводимо поправочні коефіцієнти  $\mu$ , згідно таблиці 4.8.

3. На основі порівняння отриманих модельованих та експериментальних даних ми розрахували відносну похибку (%), а також загальні критеріальні показники перевірки – середньоквадратичну похибку  $\sigma_y$ , спеціальний коефіцієнт кореляції  $RS$ , відношення середніх  $BC$  та лінійний коефіцієнт кореляції  $r$ . Результати проведених розрахунків наведено в таблиці 5.8.

Національний університет водного господарства та природокористування  
Таблиця 5.8

Перевірка якості емпіричних моделей відтворення вмісту рухомого фосфору у дерново-підзолистому ґрунті (ОС «Деражне-Постійне»)

№ зразка	Фактори			Значення показника		Поправочний коефіцієнт, $\mu$	Відносна похибка, %
	Гран. склад	Культура	Карбонатність	визначені	розраховані		
1	супісок	пшениця	н/к	57	46,6	0,6	$\pm 20,17$
2	супісок	пасовище	н/к	17	15,5	0,2	$\pm 9,11$
4	супісок	сіножать	н/к	119	103,8	9,5	$\pm 13,63$
5	супісок	пасовище	н/к	199	218,6	10	$\pm 9,37$
6	супісок	сіножать	н/к	202	218,6	10	$\pm 7,88$
9	пісок зв.	пасовище	н/к	212	224,1	8,5	$\pm 5,53$
3(44)	пісок зв.	сіножать	н/к	56	46,6	0,6	$\pm 18,42$
7(51)	пісок зв.	сіножать	н/к	109	109,3	10	$\pm 0,26$
8(84)	пісок зв.	зернові	н/к	181	184,5	7	$\pm 1,93$
Загальні критерії оцінки		$r=0,995$ $BC=0,986$ $\sigma=9,6\%$					

Як бачимо з таблиці 5.8, похибка розрахунків не перевищує допустимих похибок лабораторних аналізів, які становлять при масовій частці  $P_2O_5$  в ґрунті до 15 мг/кг –  $\pm 30\%$ , 15-30 мг/кг –  $\pm 20\%$ , більше 30 мг/кг –  $\pm 15\%$ .

Коефіцієнт кореляції, відношення середніх та середньоквадратична похибка розрахунків показали високу адекватність емпіричних моделей.

Оцінка розроблених емпіричних моделей, проведена шляхом графічного аналізу збіжності експериментальних та модельованих значень за діаграмами вмісту доступного фосфору  $P_2O_5$  в ґрунті підтверджує високий рівень адекватності розроблених моделей (рис. 5.7).

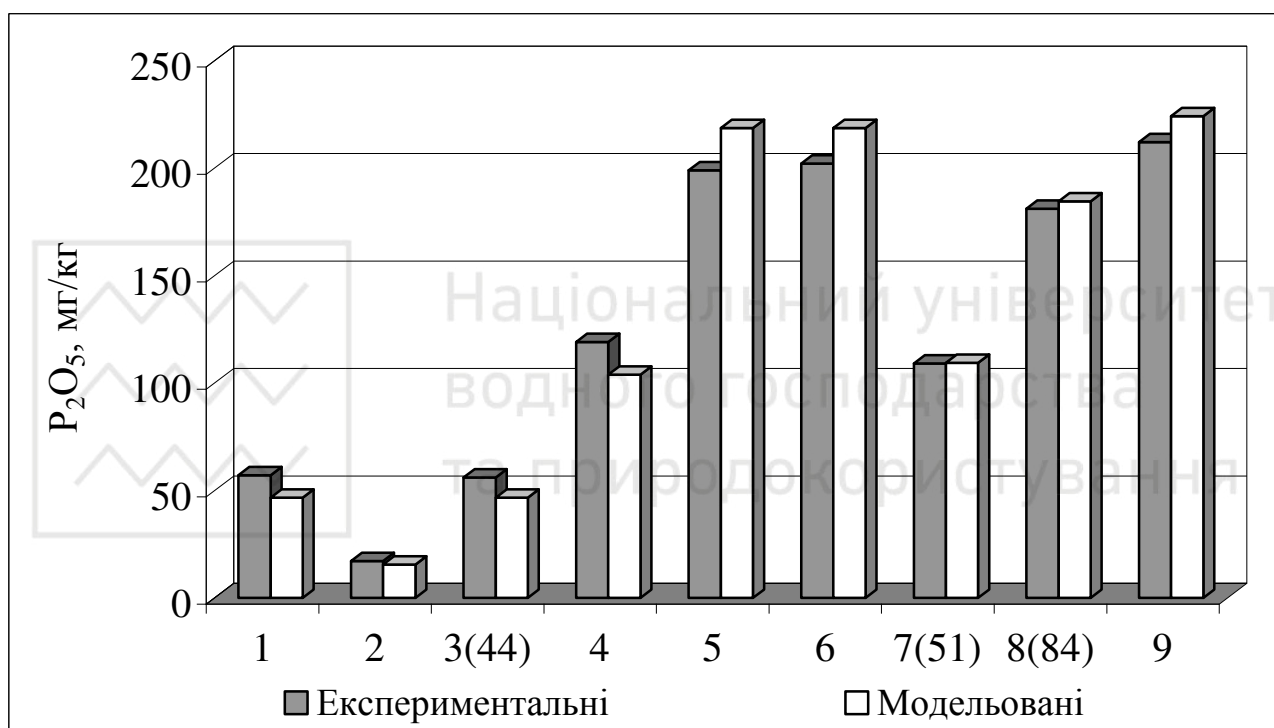


Рис. 5.7. Діаграма збіжності експериментальних та модельованих значень масової частки  $P_2O_5$  (мг/кг) в ґрунті (ОС «Деражне-Постійне»)

Проведені аналогічно вищенаведеному прикладу розрахунки для решти типових осушувальних систем підтвердили високу збіжність емпіричних моделей та їхню придатність до застосування у різних ґрунтово-кліматичних умовах гумідної зони України. Результати відтворення значень окремих досліджуваних агрохімічних показників представлені на картосхемах (див. додатки Б, В).



Таким чином, результати верифікації доводить, що розроблені емпіричні моделі розрахунку значень ґрунтових показників є адекватними і дозволяють проводити просторову екстраполяцію даних еколого-меліоративного моніторингу у процедурах відтворення даних моніторингу осушуваних ґрунтів з достатньою для практики точністю.

## Висновки до розділу

1. Перевірка адекватності емпіричних моделей розрахунку значень ґрунтових показників осушуваних земель, отриманих математико-статистичним методом дала позитивні результати. Похибка просторової екстраполяції даних еколого-меліоративного моніторингу для різних ґрунтових показників знаходиться як правило у межах похибок лабораторних вимірювань.

2. Верифікація емпіричних моделей на залежних даних моніторингових досліджень показала, що розроблені емпіричні моделі є достатньо адекватними. Загальні результати перевірки наступні. Лінійний коефіцієнт кореляції між рядами експериментальних та розрахованих значень ґрунтових показників для більшості прийнятих моделей знаходиться у інтервалі 0,70-0,98 рідко опускаючись до значень 0,5-0,6. Це засвідчує високу чутливість моделей до врахованих факторів і дає можливість оцінити моделі як адекватні. Спеціальний коефіцієнт кореляції  $RS$  показує, що 95 % моделей відповідає оцінці «дуже добре». Відношення середніх  $BC$ , які дозволяє визначити ступінь відхилення середнього модельованого значення  $\bar{y}_m$  від середнього вимірюваного  $\bar{y}_p$ , свідчать про те, що діапазони варіації модельованих значень показників співпадають з експериментальними. За стандартною похибкою апроксимації  $\sigma_y$  модельованих значень відхилення модельованих та спостережуваних значень ґрунтових показників здебільшого є незначними. Це ще раз підтверджує, що розроблені емпіричні моделі адекватно описують поведінку реальних ґрунтових процесів. Наочним





підтвердженням високої якості моделей є графіки збіжності експериментальних та модельованих кривих (див. рис. 5.1-5.3).

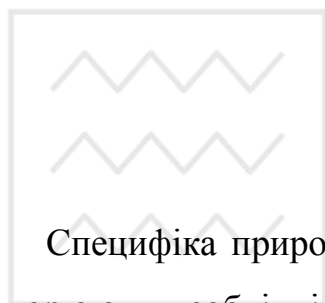
3. З метою встановлення практичної придатності розроблених моделей, нами було проведено їх остаточну перевірку на підставі порівняння розрахованих за моделями значень агрохімічних показників у певних пунктах зі значеннями отриманими експериментально. Результати перевірки підтвердили відмінну якість отриманих нами емпіричних моделей та їх повну придатність для вирішення завдань відтворення моніторингової інформації з наступним її застосуванням для потреб моніторингу, сільського господарства, землеустрою, кадастру та охорони земель. Приклади розрахунку значень ґрунтових показників показують легкість та зручність моделей у їх практичному застосуванні.

4. Рекомендуємо використовувати запропоновані моделі, створивши для цього відповідну комп'ютерну програму (чи підпрограму у вже існуючому ГІС-пакеті) відтворення просторової моніторингової інформації.

5. Збільшення довжини рядів моніторингових даних за останні роки ставить перед нами завдання зміни, доповнення і уточнення наведених вище моделей. Більш того, такі зміни можна було б вносити у постійному режимі. Цьому завданню якнайкраще відповідало б створення у найближчі роки міжвідомчої електронної бази даних моніторингу меліорованих та інших земель України, на що автори даної роботи дуже сподіваються.



## ЗАКЛЮЧНЕ СЛОВО



Специфіка природних та агрометеорологічних умов Полісся та Лісостепу створюють необхідність регулювання ґрунтових режимів та ведення в цьому регіоні моніторингу осушуваних земель. Нині відсутні достатньо дієві шляхи поширення моніторингової інформації на неконтрольовані меліоровані території. Саме тому нами була зроблена спроба розробки наукових методів просторової екстраполяції на базі системи простих математичних моделей, які б давали можливість враховувати причинно-наслідкові зв'язки, закони імовірнісного розподілу, природні та штучні фактори впливу на формування ґрунтових режимів. Наскільки вдалою є ця спроба – судити читачеві.

Дослідження проведені нами та розроблені на їхній основі математичні моделі в умовах сучасного розвитку наукового та практичного забезпечення моніторингу в Україні та інших європейських державах створюють передумови для повного територіального охоплення контрольованих масивів, створення динамічних моніторингових баз даних нового типу, нових принципів візуаліза-



ції та просторового аналізу даних, забезпечують інформаційну базу прогнозування та управління ґрунтово-земельними ресурсами.

Принципи просторової екстраполяції даних моніторингу осушуваних земель на основі емпіричних моделей кореляції ґрунтових показників у територіально відмінних пунктах контрольованих масивів є, на нашу думку, вагомим кроком на шляху вирішення проблеми практичного застосування моніторингових досліджень водогосподарськими, земельними, сільськогосподарськими і природоохоронними органами та окремими землекористувачами.

Розроблені моделі дозволяють екстраполювати дані моніторингових спостережень у різні пункти осушуваних і прилеглих до них земель, і, таким чином, оптимізувати ведення еколого-меліоративного моніторингу та сільськогосподарства, прогнозувати ґрунтово-меліоративну ситуацію в залежності від схем меліорації в конкретних умовах землекористування, а також можуть використовуватися для систематичного і оперативного забезпечення потреб будь-якого господарства інформацією про еколого-меліоративний стан осушуваних земель з метою впровадження господарських, організаційних і природоохоронних заходів для попередження можливих негативних явищ. Отримані результати можуть слугувати основою для прийняття управлінських рішень щодо сільськогосподарського використання осушуваних земель, впровадження меліоративних та природоохоронних заходів. Одержані результати дають змогу підвищити рівень оцінки еколого-меліоративного стану осушуваних земель. Результати досліджень на практиці можуть застосовуватися для потреб: визначення основних агрохімічних та агрофізичних показників осушуваних земель; оцінки рівня ефективності роботи осушувальних систем та ефективності використання осушуваних земель; оцінки еколого-меліоративного стану осушуваних земель з метою раціонального управління агроекологічною та еколого-меліоративною ситуацією тощо.

У якості основних наукових та практичних результатів нашої роботи можемо навести наступні тези:



1. На підставі аналізу наявних часових рядів моніторингових спостережень встановлено, що для осушуваних ґрунтів південно-західного Полісся та північно-західного Лісостепу України не існує чітких територіальних, генетичних, агрофізичних тенденцій відповідності законів розподілу імовірностей досліджуваних ґрунтових показників. Цей факт дає можливість розглядати будь-який ґрунтовий стаціонар, як базовий для отримання інформації про стан досліджуваних типів ґрунтів. Підпорядкованість логарифмічно нормальному закону розподілу ґрунтових показників створює реальні умови для математико-статистичного моделювання ґрунтових процесів осушуваних земель та просторової екстраполяції даних спостережень.

2. Встановлено взаємозалежність умов формування та характеру змін значень ґрунтових показників в різних пунктах осушуваних масивів. Кореляційний аналіз показав, що існує прямий взаємозв'язок між характером змін значень ґрунтових показників. При цьому ступінь взаємозв'язку для різних показників змінюється від середнього до тісного ( $R=0,50\div 0,99$ ), що дозволяє стверджувати про подібність (квазісинхронність) умов формування ґрунтових показників і можливість використання даних моніторингових спостережень в якості базових для просторової екстраполяції.

3. Створено алгоритм побудови та визначена загальна структура емпіричних моделей, які мають вигляд лінійних рівнянь простої та двовимірної регресії.

4. В результаті проведення калібрування емпіричних моделей встановлено адаптивні коефіцієнти, які виражають вплив найбільш вагомих місцевих факторів, до яких належать напрям використання земель, рівень ґрунтових вод, сільськогосподарська культура, удобрення.

5. У процесі поетапної перевірки емпіричних моделей на основі аналізу статистичних та графічних критеріїв верифікації доведено високу імітаційну



здатність моделей та їхню придатність для розрахунку значень ґрунтових показників на осушуваних землях в різних природно-господарських умовах.

6. Результати проведених досліджень показали, що розроблені емпіричні моделі можуть ефективно використовуватися для відтворення даних моніторингу осушуваних ґрунтів і, як наслідок, для картографування осушуваних земель, оцінки родючості ґрунтів та продуктивності осушуваних сільськогосподарських земель, розробки природоохоронних заходів на осушуваних землях інших завдань, пов'язаних з просторовим аналізом меліорованих земель. Отримана інформація може надаватися конкретним землекористувачам, з метою удосконалення та підвищення ефективності діяльності в галузі сільського господарства, землеробства, еколого-меліоративного моніторингу, землеустрою та охорони довкілля.

7. Рекомендуємо використовувати розроблені емпіричні моделі сільськогосподарським виробникам з метою розрахунку значень ґрунтових показників при різних ґрунтових режимах, екстраполяції цих даних на поля під різними сільськогосподарськими культурами, що дозволить підвищити ефективність використання осушуваних земель та запобігти їх виснаженню.

8. Гідрогеолого-меліоративній службі Держводгоспу України в гумідній зоні, природоохоронним установам, установам Держкомзему, Мінекології та Мінагрополітики рекомендуємо застосовувати розроблені емпіричні моделі при складанні тематичних карт та картосхем стану осушуваних земель, при здійсненні моніторингових досліджень та складанні прогнозів, при оцінці стану ґрунтового покриву осушуваних земель, при проведенні агрохімічної паспортизації земель, при розробці геоінформаційних систем аналізу та управління осушуваними ґрунтово-земельними ресурсами, при здійсненні дорадницької діяльності.

9. Впровадження запропонованих емпіричних моделей у практику організацій, причетних до управління земельними ресурсами України, дозволить раціонально використовувати дані земельного кадастру, агрохімічної паспортиза-



ції та результати моніторингових досліджень, підвищити ефективність використання осушуваних та прилеглих до них земель.

10. Застосування даних розробок може бути особливо корисним органам управління земельними ресурсами при вирішенні ними завдань паювання та відведення земельних ділянок, бонітування та економічної оцінки земель, при здійсненні експертиз проектів землеустрою, при проектуванні землевпорядних, та організаційних (протиерозійних, агротехнічних, агрохімічних, агро меліоративних тощо) заходів на осушуваних землях, при плануванні раціональних схем угідь і землекористувань, при проектуванні заходів щодо відновлення та підвищення продуктивності земель тощо.

Підсумовуючи вищевикладене хочемо висловити сподівання на те, що дана робота проллє світло на майже темну нині царину моніторингових досліджень під назвою «відтворення даних». Разом з тим не втрачаємо надії, що запропоновані нами підходи і розроблені моделі знайдуть у близькому майбутньому своє застосування у галузях еколого-меліоративного моніторингу, моніторингу земель і ґрунтів, землеустрою, сільського господарства, а також дадуть можливість перейти від голої констатації фактів, отриманих в результаті вибіркового контролю природних систем, до комплексних оцінок та реального управління станом ґрунтово-земельних ресурсів.

Важливою особливістю даної роботи є, на нашу думку, реалізація нового підходу до процедури відтворення даних про стан ґрунтового покриву, який полягає у застосуванні екстраполяції стаціонарних моніторингових даних за допомогою лінійних залежностей, побудованих на базі простої та двовимірної регресії. Не менш важливим є також те, що ефективність, такого простого на перший погляд підходу, підтверджена нами у реальних природних умовах як на основі наявної моніторингової інформації, так і за результатами спеціальних польових і лабораторних досліджень. Таким чином нами було підтверджено гіпотезу про те, що закономірності квазісинхронної динаміки властивостей ґрун-



тового покриву осушуваних земель існують і при цьому можуть бути кількісно описаними.

Безумовно, застосований нами у першому наближенні спосіб опису таких закономірностей не може претендувати на довершеність змісту та форми. Реальні процеси у високоорганізованих системах високого рівня складності, якими є ґрунтово-земельні ресурси, повинні описуватися функціональними моделями відповідного рівня побудови. Саме тому слід продовжити дослідження не лише у напрямку розвитку всебічного моніторингу ґрунтово-земельних ресурсів, а й, головним чином, у напрямку аналізу їхньої поведінки та синтезу адекватних та ефективних математичних моделей як окремих явищ і процесів, так і систем в цілому.





## ЛІТЕРАТУРА

1. Авдонин Н.С. Почвы, удобрения и качество растениеводческой продукции.– М.: Колос, 1979. - 173 с.
2. Авдонин Н.С. Свойства почвы и урожай. – М.: Колос, 1979. - 253 с.
3. Алексеев Г.А. Объективные методы выравнивания и нормализации корреляционных связей. – Л.: Гидрометеоздат, 1971.
4. Алексеевский В.Е. Мелиорация земель Полесья и вопросы охраны окружающей среды. – К.: «Знание», 1979. – 19с.
5. Алексеевский В.Е. О мелиоративно-гидрологическом районировании осушаемых территорий на примере Волынской области // Мат. Межвед. совещ. по мелиор., гидрогеологии и инж.геол. – Минск: ВСЕГИНГЕО, 1969. – Вып.2. – С.115-117.
6. Алексеевский В.Е. Опыт изучения режима подземных вод на осушенных землях Украины // Обзорная информация. – М.: ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1972. – №7. – 39 с.
7. Алексеевский В.Е. Практическое использование данных гидрогеолого-мелиоративной службы в гумидной зоне // Гидрогеологомелиоративное состояние орошаемых и осушаемых земель и методы его контроля: Сб.науч.тр. – К.: УкрНИИГиМ, 1985. – С. 3-7.
8. Алексеевский В.Е., Корсунская И.Б., Наседкин И.Ю. и др. О задачах мелиоративной службы в гумидной зоне //Гидротехника и мелиорация. – М.: Колос, 1984. – №8. – С.55–57.
9. Алексеевский В.Е., Махибразюк В.Х., Козловский Б.И. Об усилении экологической направленности гидрогеолого-мелиоративной службы в Полесье // Проблемы Полесья. – Минск: Навука і тэхніка, 1990. – Вып.13. – С. 193-199.
10. Алексеевский В.Е., Наседкин И.Ю., Рябцева Г.П. и др. Влияние осушительных мелиораций на речной сток и грунтовые воды Припятского





- Полесья Украинской ССР // Мелиорация и водное хозяйство. – К.: Урожай, 1984. – Вып. 61. – С. 28–33.
11. Алексеевский В.Е., Подзина Л.В. Теория и практика эколого-мелиоративного мониторинга в Украинском Полесье // В кн.: Теория и практика эколого-мелиоративного мониторинга в Украинском Полесье (сборник докладов). – Киев, 1992. - С. 43-53.
  12. Алексеевский В.Е., Топольник Т.И. Основы мелиоративного мониторинга на осушаемых землях.// Мелиорация и водное хозяйство, 1996, № 3. - Ст. 39-40.
  13. Алексієвський В.Є. Режим ґрунтових вод на осушених землях Прип'ятського Полісся України // Питання меліорації та ефективного використання осушених земель Українського Полісся. – Львів: Вища школа: Вид-во при Львівському держ. ун-ті, 1976. – С. 53-56.
  14. Андріяш В.А., Нагулевич П.І. Погода, урожай і ефективність добрив. //Вісник аграрної науки, 1994. - № 9. – С. 21-23
  15. Антонюк Р.А. Статистическая обработка результатов исследований в гидромелиорации. Учеб. Пособие. – К.: УМК ВО при Минвузе УССР, 1990. – 76 с.
  16. Артеменко В.И., Бескровный А.К. Сельскохозяйственное использование осушенных торфяно-болотных почв. – К.: Урожай, 1972. – 230 с.
  17. Ацци Дж. Сельскохозяйственная экология. – М.: Сельхозгиз, 1959. - 479 с.
  18. Барбер, Стенли А. Биологическая доступность питательных веществ в почве. Механистический подход. – М.: Агропромиздат, 1988. - 375 с.
  19. Белоус И.М., Козловский Б.И. Прогнозирование мелиоративной обстановки на осушаемых землях западных областей Украины по средним уровням грунтовых вод // Мелиорация и водное хозяйство. – К.: Урожай, 1992. – Вып. 76. – С.21-26.
  20. Балюк С.А., Ромащенко М.І. Ґрунтозахисні заходи – як основа збереження родючості та покращення агроекологічного стану зрошуваних земель //



- Агрохімія і ґрунтознавство. Спец. вип. до VI з'їзду УТГА, Книга 1.– Харків: 2002. – С. 58-68.
21. Блэк К.А. Растения и почва. – М.: Колос, 1973. - 376 с.
  22. Бовтрамович Ф.Б. Исследование элементов сезонного режима грунтовых вод в связи с осушением земель // Мелиорация земель Полесья и охрана окружающей среды : Сб. науч. тр. – К.: УкрНИИГиМ., 1978. – С.77-80.
  23. Бондар О.І. Особливості окисно-відновних процесів в оглеєних ґрунтах Полісся України //Зб. Агрохімія і ґрунтознавство. - Київ, Урожай, 1992. - Вип. 54. - С. 45-48.
  24. Будз М.Д. Особенности водно-физических свойств минеральных грунтов осушенных земель западной части Украинского Полесья // Гидромелиорация и гидротехническое строительство. – Львов: Вища школа, 1985. – Вып. 12. – С. 36-39.
  25. Будз М.Д. Особенности распределения влаги в зоне аэрации осушенных земель // Мелиорация и водное хозяйство. – К.: Урожай, 1981. – Вып. 51. – С. 41-42.
  26. Булавко А.Г., Маслов Б.С. Гидрологические и экологические последствия осушения земель // Гидротехника и мелиорация. – М.: Колос, 1975. – № 7. – С. 77-81.
  27. Булавко А.Г., Янковский К.Ф. Влияние мелиоративных систем на уровень грунтовых вод прилегающих земель // Проблемы использования водных ресурсов. – Минск: Наука и техника, 1971. – С.40–48.
  28. Веремеенко С.И., Клименко Н.А., Прищепя А.Н. Принципы экологической оценки и классификация режимов почв Полесья Украины // Экологические проблемы при водных мелиорациях. – Киев, 1995. - С. 31-32.
  29. Веремеенко С.І. Еволюція та управління продуктивністю ґрунтів Полісся України. Монографія. – Луцьк: “Надстир’я”, 1997. – 314 с.



30. Веремєєнко С.І., Клименко М.О., Прищєпа А.М. Еколого-меліоративні підходи до класифікації ґрунтових режимів // Селекція і технології вирощування польових культур. – Кам'янець Подільський, 1995.
31. Веремєєнко С.І., Трушева С.С. Комплексна оцінка рівня родючості дерново-підзолистих ґрунтів Західного Полісся України // Селекція і технології вирощування польових культур. Тези доп. Міжнародної конференції – Кам'янець Подільський, 1995.
32. Вериго С.А., Разумова Л.А. Почвенная влага и её значение в сельскохозяйственном производстве. – Л.: Гидрометеиздат, 1963.
33. Вернандер Н.Б., Годлін М.М., Самбур Г.Н., Скорина С.А. Ґрунти України. – Київ, 1951. – 327 с.
34. Владимиров А.М. Гидрологические расчеты. Учебник. – Гидрометеиздат, 1990. – 365 с.
35. Возбуцкая А.Е. Химия почвы. – М.: Высшая школа, 1968. – 420 с.
36. Вознюк С.Т. Агромеліоративная характеристика торфяных почв Полесья и Лесостепи Украины // В кн. Земледелие на осушаемых землях. – Киев, 1974. – С. 30-42.
37. Вознюк С.Т. Изменение торфяных почв под влиянием осушения и сельскохозяйственного использования // Отчет о научно-исследовательской работе. – Ровно, 1971. – 75 с.
38. Вознюк С.Т. Исследования способов осушения и использования осушенных минеральных земель: Науч.-исслед. Отчет. – Ровно: УИИВХ, 1978. – 18 с.
39. Вознюк С.Т. Торфяно-болотные почвы Левобережья и среднего Приднепровья: генезис, классификация и производственные особенности на примере р.Трубеж. Авторефер. дис. канд. с.-х. наук. – Харьков, 1959. – 27 с.



40. Вознюк С.Т. Торфяные почвы Полесья и Лесостепи УССР (свойства, окультурирование и повышение эффективного плодородия). Авторефер. дис. доктора с.-х. наук. – Харьков, 1969. – 37 с.
41. Вознюк С.Т., Артеменко В.І., Потоцький Г.С. Довідник по використанню осушених земель. – К.: Урожай, 1987. – 200 с.
42. Вознюк С.Т., Гаць П.І., Лико Д.В. Регулювання водного режиму – запорука високих врожаїв. – Львів: Каменяр, 1987. – 34 с.
43. Вознюк С.Т., Крыштоф В.Г., и др. Использование результатов анализов почв в целях повышения их плодородия и определения потребности в мелиорациях. – К.: УМКВО, 1988. – 172 с.
44. Вознюк С.Т., Кузьмич П.К., Крыштоф В.Г. и др. Мелиоративное почвоведение с основами гидрологии. – Львов: Вища школа, 1984. – 264 с.
45. Вознюк С.Т., Оліневич В.О., Олійник В.С. Перезволожені ґрунти та їх меліорація. – К.: Наукова думка, 1984. – 104 с.
46. Вознюк С.Т., Трускавецький Р.С. Агрохимические свойства минеральных почв Полесья и Лесостепи Украины и эффективность минеральных удобрений // В кн. Агрохимическая характеристика почв СССР. Украинская ССР. – М.: 1973. – С. 143-164.
47. Вознюк С.Т., Трускавецький Р.С. Зміни ґрунтового складу органічної речовини торфових ґрунтів під впливом осушення і використання. // Вісник сільськогосподарської науки, 1971. – №12. – С. 58–63.
48. Гандин Л.С., Каган Р.И. Статистические методы интерпретации метеорологических данных. – Л.: Гидрометеоиздат, 1976. – 210 с.
49. Гардинер К.В. Стохастические методы в естественных науках. – М.: Мир, 1986.
50. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Высшая школа, 1977. – 479 с.



51. Гринченко Т.А. Закономерности развития почвенных режимов и свойств Нечерноземья УССР в условиях интенсивного земледелия. Автореф. дисс. доктора с.-х. наук. – Харьков, 1986. – 34 с.
52. Грінченко Т.О. Комплексні показники. // В кн. Родючість ґрунтів. Моніторинг та управління. – К.: Урожай, 1992. – С.19-33.
53. Гулинова Н.В. Методы агроклиматической обработки наблюдений. – Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – 149 с.
54. Джефферс Дж. Введение в системный анализ: применение в экологии. – М.: Мир, 1981. – 252 с.
55. Дмитриев Е.А. Закономерности пространственной неоднородности состава и свойств почв. Автореф. дис. док. биол. наук. – М.: 1983. – 51 с.
56. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. – М.: Из-во Моск. ун-та, 1972.
57. Дмитриев Е.А., Благовещенский Ю.Н. Непараметрические методы в почвенных исследованиях. – М.: Наука, 1987.
58. Дмитриев Е.А., Благовещенский Ю.Н., Самсонова В.П., Жевелева Е.М. Пространственное варьирование содержания гумуса в дерново-подзолистой почве // Научные доклады высшей школы. Биолог. Науки, 1983. – №6. – С. 92-97.
59. Довідник з агрохімічного та агроекологічного стану ґрунтів України. – К.: Урожай, 1994. – 332 с.
60. Донских И.Н. Почвенные режимы в освоенных низинных торфяных почвах Северо-Запада РСФСР. Автореф. дисс. доктора с.-х. наук. – Л.: Пушкин, 1982. – 541 с.
61. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Колос, 1979. – 416 с.
62. Дудинец Ф.Н., Тимохович Н.С. Эффективность фосфорно-калийных удобрений при ежегодном и периодическом внесении на пойменных торфяных почвах // Химия в сельском хозяйстве, 1974. – №1. – С. 13-14.



63. Жуков Л.Ф. Моделирование и расчет водного и пищевого режимов мелиорируемых торфяных почв. Автореферат диссер. канд. с.-х. наук, 1988. – 27 с.
64. Заболоцкая Т.Г., Юдинцева И.И., Хмелинин И.Н. Агрохимия подзолистых почв Севера. – М.: Наука, 1982. – 136 с.
65. Забочина З.А. Вказівки по осушенню мінеральних надмірно зволжених земель закритим дренажем в західних областях УРСР. – К.: Урожай, 1969. – 32 с.
66. Зайдельман Ф.Р. Режим и условия мелиорации заболоченных почв. – М.: Колос, 1975. – 317 с.
67. Зайдельман Ф.Р. Эколого-мелиоративное почвоведение гумидных ландшафтов. – М.: Агропромиздат, 1991. – 320 с.
68. Закон України про охорону навколишнього природного середовища (від 25.06.91, №1264 –12). – К.: 1991.
69. Закревский Д.В. Об оценке влияния осушительных мелиораций на вынос химических элементов речными водами // Мелиорация и водное хозяйство. – К.: Урожай, 1988. – Вып. 68. – С. 10-14.
70. Закржевский П.И. Влияние осушения болот на водный режим прилегающих территорий // Мелиорация земель Полесья и охрана окружающей среды : Сб. науч. тр. – К.: УкрНИИГиМ., 1979. – С. 24-27.
71. Земельний кодекс України (від 25.10.01, постанова №2768-III). – К.: 2001. – С. 5-25.
72. Иванушкина Н.И., Рябцева Г.П. Оценка дренажного стока с осушаемых земель Украинского Полесья // Гидротехника и мелиорация. – М.: Колос, 1985. – № 5. – С. 50–52.
73. Ивахненко А.Г., Мюллер Й.А. Самоорганизация прогнозирующих моделей. – М.: Техника, 1985. – 224 с.
74. Ивицкий А.И. Исследование норм осушения болот // В кн. Тр. ИМиВХАСХН БССР. – Минск, 1958. – т.УІІІ. – С. 35-54.



75. Ивицкий А.И. О предельных и оптимальных нормах осушения болот // Гидротехника и мелиорация. – М.: Колос, 1962.– № 12. – С. 33-42.
76. Израэль Ю.А. Концепция мониторинга состояния биосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1977.
77. К оценке эколого-мелиоративной обстановки в Черниговском Полесье. Под ред. П.И.Коваленко, В.И.Шевелл. – Чернигов: «Десна», 1993.
78. Кабанов С.А. Управление системами на прогнозирующих моделях. – Спб.: Из-во Санк.-Петер. Ун-та, 1997. – 200 с.
79. Кайсл Ч. Анализ временных рядов гидрологических данных. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 448 с.
80. Карманова И.В. Математические методы изучения роста и продуктивности растений. – М.: «Наука», 1976. – 221 с.
81. Кауричев И.С. Почвоведение. – М.: Колос, 1982. – С.162-167.
82. Кауричев И.С. Практикум по почвоведению.– М.: «Колос», 1980.– С. 208-219.
83. Кемниц Ю.В. Математическая обработка зависимых результатов измерений. – М.: Недра, 1970.
84. Кенделл Д.Р. Виды распределения одной переменной. Статистические методы в гидрологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1970.
85. Клименко М.О. Температурний режим торфових ґрунтів Західного Полісся України та його регулювання // Вісник аграрної науки, 1995. – № 11. – С. 26-31.
86. Клименко М.О., Веремеєнко С.І., Куліш В.Ф. Екологічний стан та меліорація дерново-підзолистих піщаних ґрунтів Полісся України // Моніторинг осушуваних земель і питання охорони навколишнього природного середовища. – К., 1994. – С. 45-46.
87. Клименко Н.А. Изучение динамики накопления биомассы кукурузы при регулируемом водном режиме торфяных почв Полесья Украинской ССР // Мелиорация и водное хозяйство. – К.: Урожай, 1985. – С. 19–23.



88. Клименко Н.А. Почвенные режимы гидроморфных почв Полесья УССР. – К.: Из-во УСХА, 1990. – 176 с.
89. Клименко Н.А., Веремеенко С.И. Окислительно-восстановительный режим осушаемых дерново-подзолистых почв Полесья УССР // Почвоведение, 1988. – № 4. – С. 31-37.
90. Клименко Н.А., Веремеенко С.И. Регулирование температурного режима осушенных почв // Мелиорация и водное хозяйство, 1988. – № 12. – С. 50-52.
91. Клименко Н.А., Веремеенко С.И., Кузьмич П.К. Эффективность комплексных мелиораций земель Западного Полесья // Вестник сельскохозяйственной науки, 1988. – № 3 – С. 59-63
92. Клименко Н.А., Веремеенко С.И., Новачок О.М., Окультуривание осушаемых дерново-подзолистых почв // Достижения НТП – в мелиорации и водном хозяйстве. – Ровно, 1987. – ч. II. – 36 с.
93. Коваленко П.І., Алексєєвський В.Є. та ін. До концепції керування природоохоронною діяльністю на осушуваних землях // Моніторинг осушуваних земель та питання охорони навколишнього природного середовища: Зб. наук. пр. – К.: ІГіМ УААН, 1995. – С. 5-13.
94. Ковда В.А. Основы учения о почвах. – М.: Наука, 1973, а – Кн. I. – 447 с.
95. Ковда В.А. Основы учения о почвах. – М.: Наука, 1973, б – Кн. II. – 468 с.
96. Ковда В.А. Почвенный покров, его улучшение, использование и охрана. – М.: Наука, 1981. – 400 с.
97. Кожушко Л.Ф. Удосконалення дренажних систем. – Рівне: Вид-во РДТУ, 2001. – 279 с.
98. Козловский Б.И. Понятие о мелиоративном мониторинге на осушаемых землях. Вопросы экологии и мелиорации заболоченных земель. – Шацк, 1991. – С. 23-24.





99. Козловский Б.И. Структурно-функциональная математическая модель миграции ландшафтно-геохимических процессов // Почвоведение, 1972. – № 4. – С. 122-138.
100. Контроль и прогнозирование плодородия мелиорируемых почв /Г.Санду, В.Блэнару, М.Дрэка и др./ – М.: Колос, 1984. – 220 с.
101. Костяков А.Н. Основы мелиорации. – М.: Сельхозиздат, 1960. – 622 с.
102. Котюков В.И. Многофакторные кусочно-линейные модели. – М.: «Финансы и статистика», 1984.
103. Кубышкин В.П. Осушительное действие закрытого дренажа в суглинистых почвах // Вопросы осушения. – К.: Урожай, 1964. – С. 41-46.
104. Кубышкин В.П., Тютюнник Д.А. О мелиоративной оценке минеральных, периодически переувлажненных почв в западных областях УССР // Мелиорация и водное хозяйство. – К.: Урожай, 1971. – Вып. 15. – С. 33-40.
105. Кузьмич П.К., Веремеенко С.И., Трофимчук О.М. Окисно-відновний режим чорноземів в умовах зрошення та обігріву // Зб. Агрохімія та ґрунтознавство. – К.: Урожай, 1992. – вип. 54. – С. 42-45.
106. Кузьмич П.К., Клименко Н.А. Применение фосфорно-калийных удобрений под кормовую свеклу на торфяных почвах // Химия в сельском хозяйстве, 1980. – № 4. – С. 15-17.
107. Кузьмич П.К., Клименко Н.А., Веремеенко С.И., Матушевська Н.Р. Водный режим дерново-подзолистых почв Полесья УССР. // Сб. ЦБНТИ Минводхоза СССР. – Вып. 2, 1989. – С. 5-8.
108. Кулаковская Т.Н. Почвенно-агрохимические основы получения высоких урожаев. – Минск, 1978. – 272с.
109. Лаврик В.И. Применение системного анализа и имитационного математического моделирования к оценке и прогнозированию основных показателей качества воды в реках и водохранилищах // Доклады научно-практической конференции «Экологические проблемы при водных мелиорациях»: Киев, 1996. – С. 54-60.



110. Лаврик В.И., Яковенко П.И., Сергиенко А.И. Оценка влияния осушительных мелиораций на ресурсы и качество грунтовых вод Украинского Полесья // Охрана и использование природных ресурсов Полесья в связи с проведением осушительных мелиораций. Сборник научн. тр. – К.: 1983. – Вып.3. – С. 45-48.
111. Лебедев А.В. Методы изучения баланса грунтовых вод. – М.: «Недра», 1976.
112. Лимер Э. Статистический анализ неэкспериментальных данных: Выбор формы связи // Пер. с англ. О.В.Ивановой, Ю.П.Федоровского; Под ред. и с предисл. А.А.Рывкина. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 381 с.– (Математико-статистические методы за рубежом).
113. Лыко Д.В. Влияние состава твердой фазы на динамику свойств мелиорируемых торфяных почв. Автореф. дисс. канд. с.-х. наук. – Ровно, 1975. – 23 с.
114. Лыко Д.В. Проблемы и пути окультуривания мелиорируемых земель Полесья УССР. – Киев: Из-во УСХА, 1990. – 164 с.
115. Мантуров О.В. Курс высшей математики. Учеб. для вузов. – М.: Высшая школа, 1991. – 448 с.
116. Маслов Б.С. О нормах осушения и орошения болот // Гидротехника и мелиорация, 1963. – № 1. – С. 31-38.
117. Маслов Б.С., Минаев И.В. Мелиорация и охрана природы. – М.: Россельхозиздат, 1985. – 271 с.
118. Маслов Б.С., Михалева А.Е. Об организации природно-мелиоративного мониторинга // Материалы к сем.-совещ.: Мониторинг на осушаемых землях в верховьях Прирятьи. – К.: ВНПО УкрНИИГИМ, 1990. – С. 37.
119. Математические методы оценки агроклиматических ресурсов / [В.А.Жуков, А.Н.Полевой, А.Н.Витченко]. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 206 с.
120. Математические методы построения и анализа алгоритмов. – Л.: Наука, 1990. – 238 с.



121. Математическое моделирование в экологии. Материалы III школы по математическому моделированию сложных биологических систем. /Отв. ред. Молчанов О.Б./ – М.: Наука, 1978. – 180 с.
122. Медведев В.В. Агроэкологическая оценка земель Украины и размещение сельскохозяйственных культур. – К.: Аграрная наука, 1997. – 78 с.
123. Медведев В.В. Оптимизация агрофизических свойств черноземов. – М.: Агропромиздат, 1988. – 158 с.
124. Медведев В.В., Лактионова Т.Н. Концепция почвенного мониторинга // Вестник аграрной науки, 1992. – № 9.
125. Медведев В.В., Лактионова Т.М. Агрофізична деградація ґрунтів // В кн.. Родючість ґрунтів. Моніторинг та управління. – К.: Урожай, 1992. – С. 80-90.
126. Мелиорация и сельскохозяйственное освоение мелиоративных земель в Ровенской области / Г.С. Потоцкий, С.П. Майструк, Л.Ф. Кожушко. – Ровно: Облполиграфиздат, 1984. – 107 с.
127. Методичні вказівки по організації та веденню моніторингових робіт на осушуваних землях / Під ред. В.Є.Алексєєвського /. – К.: 1995. – 78 с.
128. Методы прогноза солевого режима грунтов и грунтовых вод. // Под ред. Веригина Н.Н. – М.: Колос, 1979. – 33 с.
129. Минаев В.И. Теоретические основы эколого-мелиоративного мониторинга. // Теория и практика эколого-мелиоративного мониторинга в Украинском Полесье (сборник докладов). – Киев, 1992. – С. 33-42.
130. Минаев И.В. Реализация принципов мониторинга на крупных мелиоративных системах. Мат. Сов. Мониторинг на осушаемых землях в верховьях реки Припяти. – К.: УкрНИИГИМ, 1990. – 18 с.
131. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. – М.: Физматгиз, 1961. – 479 с.
132. Моделирование водно-солевого режима почвогрунтов с использованием ЭВМ. – М.: Наука, 1976. – 124 с.



133. Моделирование роста и продуктивности сельскохозяйственных культур. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 320 с.
134. Моніторинг і оцінка еколого-меліоративного стану осушуваних земель Рівненської області / Під ред. В.С.Мошинського. – Рівне, 1995. – 48 с.
135. Мостеллер Ф., Тьюки Дж. Анализ данных и регрессия. Вып.2. – М.: Финансы и статистика, 1982. – 316 с.
136. Мошинский В.С. О некоторых экологических проблемах осушения в Ровенской области // Теория и практика эколого-мелиоративного мониторинга в Украинском Полесье (сборник докладов). – Киев, 1992. – С. 61-70.
137. Мошинський В.С. Оцінка стану ґрунтів на о.с. "Стубелка" Рівненської області // Зб. наук. статей до 75-річчя від дня заснування УДАВГ „Актуальні проблеми водного господарства”. – Рівне, 1997. – С. 45-46.
138. Мошинський В.С. Оцінка стану ґрунтового покриву осушувальної системи „Воробино” // Вісник РДТУ: Зб. наук. пр. – Рівне, 2000. – Вип. 2. – С. 56-63.
139. Мошинський В.С. Моніторинг і оцінка еколого-меліоративного стану осушуваних земель Рівненської області. - Рівне: 1995. – 45 с.
140. Мошинський В.С. Математична модель і методика оцінки екологічної стійкості осушуваних земель // Вісник УДУВГП: Зб. наук. пр. – Рівне, 2002. – Вип. 5(18). – С. 121-129.
141. Мошинський В.С. Методи управління продуктивністю та екологічною стійкістю осушуваних земель: Монографія. – Рівне: НУВГП, 2005. – 250 с.
142. Мошинський В.С., Сасюк З.К. Визначення відносної ваги складових урожаю на осушуваних ґрунтах. – Харків: Вісник ХДАУ. – № 1. – 2000. – ст. 57-62.
143. Мошинський В.С., Сасюк З.К. Деякі стохастичні закономірності осушуваних ґрунтів північно-західного Лісостепу України. – Рівне: Вісник РДТУ. – Вип. 5 (7). – 2000. – С. 59-66.



144. Мошинський В.С., Сасюк З.К. До розробки методики стохастичного моделювання іонного складу осушуваних ґрунтів лісостепу України. – Рівне: Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво. – Вип. 25. – 2000. – С. 33-42.
145. Мурашко А.И. Принципы современных мелиораций в гумидной зоне // Гидротехника и мелиорация. – 1977. – № 4.
146. Мурашко А.И., Щербаков Г.А. Осушение торфяно-сапропелевых болот. – Минск.: Ураджай, 1984. – 128 с.
147. Муха В.Д. Особенности минералогического и химического состава почв боровых террас Левобережья УССР // Почвоведение, 1988. – № 10. – С. 75-81.
148. Мякина Н.Б., Аринушкина Е.В. Методическое пособие для чтения результатов химических анализов почв. – М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1979. – 62 с.
149. Надточій П.П., Вольвач Ф.В., Гермашенко В.Г. Екологія ґрунту та його забруднення. – К.: “Аграрна наука”, 1997.
150. Наседкин И.Ю. Водобалансовые исследования на осушаемых землях // Гидротехника и мелиорация. – М.: Колос, 1983. – №4. – С.57–59.
151. Наседкин И.Ю. Особенности мелиоративного контроля на осушаемых землях // Комплексное использование мелиорируемых земель. – К.: УкрНИИГиМ, 1986. – С. 78-82.
152. Наседкин И.Ю. Особенности формирования баланса грунтовых вод в пределах Западного Полесья // Мелиорация и водное хозяйство. – К.: Урожай, 1974. – Вып. 31. – С. 33-43.
153. Неуймин Я.Г. Модели в науке и технике. – Л.: 1984. – 58 с.
154. Носко Б.С. Фосфатний режим ґрунтів і ефективність добрив. – К.: Урожай, 1986. – 75 с.
155. Носко Б.С., Можейко М.В., Воробьева А.К. и др. Обеспеченность почв УССР макро- и микроэлементами // В кн. Почвы Украины и повышение их



- плодородия. – К.: Урожай, 1988. – т.2. – С. 19-34.
156. Носко Б.С., Прістер Б.С. та ін. Довідник з агрохімічного та агроекологічного стану ґрунтів України. – К.: Урожай, 1994. – 333 с.
157. Овчинников П.П. Вища математика: Підручник. Частина 2.– 2-ге вид., стереотип. – К.: Техніка, 2000. – 792 с.
158. Окулик М.В. Водный режим и продуктивность почв. – Минск: Ураджай, 1989. – 191 с.
159. Олейник А.Я. Гидродинамика дренажа. – К.: Наукова думка, 1981. – 284 с.
160. Олейник А.Я. Регулирование водно-воздушного режима на фоне дренажа на основе математического моделирования // Повышение эффективности осушительно-увлажнительных систем: Сб. науч. тр. – К.: УкрНИИГиМ, 1985. – С. 129-133.
161. Орешкина Н.С. Статистические оценки пространственной изменчивости свойств почв. – М.: Изд-во МГУ, 1988. – 112 с.
162. Орлов Д.С. Варьирование содержания органического вещества и окислительно-восстановительного потенциала в пахотном горизонте дерново-подзолистой почвы // Науч. докл. высш. шк. Биологические науки, 1969. – №3. – С. 195-198.
163. Орлов Д.С. Окислительно-восстановительный режим некоторых почв дерново-подзолистой зоны // Агрохимия, 1974. – № 3. – С. 63-72.
164. Орлов Д.С. Химия почв. – М.: Высшая школа, 1992. – 223 с.
165. Основы эколого-мелиоративного мониторинга Украинского Полесья // Под ред. Созинова, П.И. Коваленко. – Киев-Луцк, 1992. – С. 27.
166. Охрана природы. Почвы. Номенклатура показателей санитарного состояния ГОСТ 17.4.2.01–81.
167. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб ГОСТ 17.4.3.01–83.
168. Оценка и контроль изменений в природных комплексах под влиянием осушения // В.Е. Алексеевский и др. – К.: УкрНИИГИМ, 1992. – 188 с.



169. Пановский Г.А., Брайер Г.В. Статистические методы в метеорологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 210 с.
170. Параметры плодородия основных типов почв. / Под ред. Акад. ВАСХНИЛ Каштанова А.Н./ – М.: Агропромиздат, 1988. – 372 с.
171. Пачепский Я.А. Математическое моделирование физико-химических процессов в почвах. – М.: Наука, 1990. – 188 с.
172. Перехрест С.М. Меліорація надмірно зволжених мінеральних земель України. – К.: Наукова думка, 1966. – 130с.
173. Перехрест С.М. О причинах переувлажнения минеральных земель атмосферного водного питания и расчетных нормах дренажного стока // Гидротехника и мелиорация. – М.: Колос, 1961. – № 2. – С. 28–30.
174. Полевой А.Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных угодий. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1983. – 176 с.
175. Полевой определитель почв. // М-во с.-х. УССР и др.; под ред. Полупана Н.И. и др. – К.: Урожай, 1981.
176. Положення про державний моніторинг НПС в Україні.
177. Полупан М.И., Тихоненко Д.Г., Ковалишин Д.И. Дерново-подзолистые почвы // В кн.: Почвы Украины и повышение их плодородия. – К.: Урожай, 1988. – Т.1. – С. 128-136.
178. Полупан М.И., Чесняк Г.Я. Динамика содержания гумуса и его состав // В кн.: Почвы Украины и повышение их плодородия. – К.: Урожай, 1988. – т.1. – С. 94-102.
179. Посібник з ведення спостережень для еколого-меліоративного моніторингу на осушуваних землях гумідної зони України до відомчих будівельних норм “Організація і ведення еколого-меліоративного моніторингу на меліорованих землях”. Частина 2. Осушувані землі. ВБН 33-5.5-01-97. – К.: Київ, 1997. – 121 с.
180. Постанова КМУ „Про державну систему моніторингу довкілля від 30 березня 1998 р. № 391 (зі змінами від 16.05.2001, № 528). – К.: 2001.



181. Почвы. Метод определения гумуса по методу Тюрина в модификации ЦИНАО ГОСТ 26213–84.
182. Почвы. Метод определения зольности торфяных и оторфованных горизонтов почв ГОСТ 27784–88.
183. Почвы. Метод определения ионов карбоната и бикарбоната в водной вытяжке ГОСТ 26424–85.
184. Почвы. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава ГОСТ 12536–79.
185. Почвы. Методы лабораторного определения физических характеристик ГОСТ 5180-84.
186. Почвы. Методы определения ионов кальция и магния в водной вытяжке ГОСТ 26428–85.
187. Почвы. Методы определения ионов сульфата в водной вытяжке ГОСТ 26426–85.
188. Почвы. Методы определения ионов хлорида в водной вытяжке ГОСТ 26425–85.
189. Почвы. Методы определения катионно-анионного состава водной вытяжки ГОСТ 26423-85.
190. Почвы. Методы определения органического вещества ГОСТ 26213–91.
191. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки ГОСТ 26423–85.
192. Почвы. Общие требования к проведению анализов ГОСТ 29269–91.
193. Почвы. Определение нитратов по методу ЦИНАО ГОСТ 26488–85.
194. Почвы. Определение обменного аммония по методу ЦИНАО ГОСТ 26489–85.
195. Почвы. Определение подвижности соединений фосфора по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО ГОСТ 26207–91.
196. Почвы. Определение подвижности соединений фосфора по методу Мачигина в модификации ЦИНАО ГОСТ 26205–91.





197. Почвы. Отбор проб ГОСТ 28168–89.
198. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО ГОСТ 26483–85.
199. Пристер Б.С., Швобс Г.И. Концепция агроэкологического мониторинга и система его научно-методического обоснования // Докл. НАН Украины. – 1995. – № 4. – С. 23-28.
200. Пытьев Ю.П. Методы анализа и интерпретации эксперимента. – М.: Из-во МГУ, 1990. – 286 с.
201. Реактивы. Методы приготовления растворов для колориметрического и нефелометрического анализа. ГОСТ 4212–76.
202. Рижук С.М., Слюсар І.Т. Агроекологічні основи ефективного використання осушуваних ґрунтів Полісся і Лісостепу України. – К.: Аграрна наука, 2006.– 424 с.
203. Роде А.А. Основы учения о почвенной влаге. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – Т.2. – 288 с.
204. Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 424 с.
205. Рокочинский А.М., Шалай С.В. Принципи побудови загальної моделі врожайності на осушуваних землях // Вісник РДТУ. – Вип. 5 (7). – Рівне, 2000. – С. 72-76.
206. Рокочинський А.М., Зубик Л.В., Покладнєв Є.І., Рокочинська Н.А. Загальні практичні критерії, умови та моделі еколого-економічної оптимізації проектних рішень з водорегулювання осушуваних земель // Вісник РДТУ. – Вип. 5 (12). – Рівне: 2001. – С. 232-242.
207. Романова Т.А. Водный режим в генетической характеристике почв гумидной зоны // Почвоведение, 1994. – № 4. – С. 32-39.
208. Рябцева Г.П. Влияние сельскохозяйственного освоения осушаемых земель на химический состав подземных и поверхностных вод // Мелиорация



- земель Полесья и охрана окружающей среды. – К.: УкрНИИГиМ, 1979. – С. 38-41.
209. Самсонова В.П. Соотношения между статистическими характеристиками почвенных свойств // Почвоведение, 2002. – С. 705-709.
210. Сасюк З.К. До методики моделювання станів осушуваних ґрунтів України. – Рівне: Вісник УДУВГП. – Вип. 4 (17), 2002. – С. 117-124.
211. Сасюк З.К. Математико-статистичне моделювання стану осушуваних ґрунтів Рівненщини. – Рівне: Вісник УДУВГП, Ч.1. – Вип. 5 (18), 2002. – С. 129–135.
212. Сасюк З.К., Мошинський В.С. Математико-статистичне моделювання стану осушуваних ґрунтів Рівненської області. – Житомир: Вісник ДААУ. – вип. 7. –2002. – С. 112-117.
213. Сасюк З.К. Практична реалізація емпіричних моделей розрахунку значень ґрунтових показників осушуваних земель Рівненської області.– Рівне: Вісник НУВГП. – Вип. 2 (34), Ч.1, 2006. – С. 57-64.
214. Семенов Н.А. Программы регрессионного анализа и прогнозирования временных рядов. Пакеты ПАРИС и МАВР. – М.: Финансы и статистика, 1990. – 110 с.
215. Сергеев Г.А., Янугин Д.А. Статистические методы исследования природных объектов. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 300 с.
216. Сергиенко И.В. Математическое моделирование и исследование процессов в неоднородных средах. – К.: Наукова думка, 1991.
217. Сердобольский И.П. Влияние влажности на окислительно-восстановительные процессы в подзолистых почвах // Почвоведение, 1950. – № 7. – С. 47-50.
218. Синицына Н.И., Гольцберг И.А., Струнников Э.А. Агроклиматология. – Л.: Гидрометеиздат, 1973.
219. Сиротенко О.Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистем. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 167 с.



220. Скоропанов С.Г. Мелиорация торфяников и проблема органического вещества // В кн.: Изменение торфяных почв под влиянием осушения и использования. – Минск, 1969. – С. 21-23.
221. Скоропанов С.Г. О нормах осушения торфяно-болотных почв // Гидротехника и мелиорация. – М.: Колос, 1962. – № 1.– С. 34-40.
222. Скоропанов С.Г. Осушительная мелиорация и проблемы окружающей среды // Гидротехника и мелиорация. – М.: Колос, 1980. – № 12. – С. 40-43.
223. Скрипник О.В. Системы двухстороннего регулирования водного режима // Гидротехника и мелиорация. – М.: Колос, 1984. – № 4. – С. 55–57.
224. Скрипник О.В., Романенко А.И., Снежко С.Г., Чернова Л.Д. Строительство и оценка работы контурно-водоаккумулирующих систем для мелиорации земель со сложным рельефом // Модернизация мелиоративных систем и пути повышения эффективности использования осушенных земель. – М.: «Полирек», 1998. – С. 62–67.
225. Скрипник О.В., Солопко М.А., Гаць П.И. Расчет режима увлажнения на торфо-болотных почвах. // Гидротехника и мелиорация. – 1982. – № 9. – С. 44–46.
226. Скрынникова И.Н. Влияние регулирования водного режима окультуренных торфяно-болотных почв на направление в них почвенных процессов // Почвоведение, 1959. – №1. – С. 30-39.
227. Скрынникова И.Н. Почвенные процессы в окультуренных торфяных почвах. – М.: Из-во АН СССР, 1961. – 248 с.
228. Соловей В.Б., Величко В.А. Зональні особливості ґрунтового покриву Полісся та проблеми генези і діагностики його компонентів // Вісник аграрної науки, 1997. – № 2. – С. 10-14.
229. Стан родючості ґрунтів України та прогноз його змін за умов сучасного землеробства. За ред. В.В.Медведева, М.В.Лісового. – Харків: “Штрих”, 2001. – 98 с.



230. Стенчиков Г.Л., Степанов Д.С. Моделирование климатических процессов // Математическое моделирование: Методы описания и исследования сложных систем. – М.: Наука, 1989. – С. 74-98.
231. Строганова М.А. Математическое моделирование формирования качества урожая. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 151 с.
232. Тараріко О.Г. Організація та завдання агроекологічного моніторингу // Агроекологічний журнал, 2002. – №2. – С. 19-23.
233. Терещенко К.П. Гидрогеологическое наблюдения на осушаемых землях западных областей УССР // Гидротехника и мелиорация. – М.: Колос, 1971. – № 8. – С. 57–62.
234. Терещенко К.П., Білоус Й.М., Козловський Б.І. та ін. Режим підґрунтових вод і вологість зони аерації на культурних пасовищах і сіножатях Львівської області // Вісник сільськогосподарської науки. – К.: Урожай, 1984. – № 3. – С. 56-58.
235. Тооминг Х.Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 264 с.
236. Топольник Т.И. О мелиоративном мониторинге на осушаемых землях. // Мелиорация и водное хозяйство, 1991. – № 2.
237. Дж. Торнли Г.М. Математические модели в физиологии растений. – Киев: Наукова думка, 1982. – 312 с.
238. Троцюк В.С. Трансформация свойств дерново-глеевых карбонатных почв Западного Полесья Украины под влиянием осушения и применения удобрений. Автореф. дисс. канд. с.-х. наук. – Ровно, 1992. – 18с.
239. Трускавецкий Р.С. Режим калия в торфяных почвах Полесья и Лесостепи Украины. Автореф. дисс. канд. с.-х. наук. – Харьков, 1966. – 27 с.
240. Трускавецький Р.С. Негативні явища в ґрунтоутворенні на осушених землях //В кн. Родючість ґрунтів. Моніторинг та управління. – К.: Урожай, 1992. – С. 147-157.



241. Тыщенко А.И. Научно-производственные исследования и проектирование осушительно-увлажнительных систем в западном регионе Украины // Повышение эффективности осушительно-увлажнительных систем: Сб. науч. тр. – К.: УкрНИИГиМ, 1985. – С. 112-118.
242. Тютюнник Д.А. Глубокое рыхление минеральных осушенных почв // Мелиорация земель Полесья и охрана окружающей среды.– Минск: Ураджай, 1977. – Вып. 1. – С. 120–127.
243. Уланова Е.С. Применение математической статистики в агрометеорологии для нахождения уравнений связей. – М.: Гидрометеиздат, 1964. – 112 с.
244. Уланова Е.С., Забелин В.Н. Методы корреляционного и регрессионного анализа в агрометеорологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1990.
245. Фишер Р.А. Статистические методы для исследователей. – М.: Госстатиздат, 1958. – 248 с.
246. Франс Дж., Торнли Дж. Х.М. Математические модели в сельском хозяйстве. – М.: Агропромиздат, 1987. – 400 с.
247. Харко А.А., Козловський Б.І., Когут Н.Е. Водно-повітряний режим і продуктивність сільськогосподарських угідь Болозівської осушувальної системи Львівської області // Передгірне та гірське землеробство і тваринництво. – К.: Урожай, 1992. – С. 23-26.
248. Харко А.А., Сенькив Н.Я., Козловский Б.И. Мелиорация земель во Львовской области /Мелиорация и водное хозяйство: Обзор информации/: ЦБНТИ Минводстроя СССР. – М.: 1990. – С.3-36.
249. Худошин И.М. Режим грунтовых вод и оценка эффективности мелиораций на осушительных системах Западного Полесья Украины // Мат. третьего межвед. совещ. по вопросам прогнозирования гидрогеол., инж.-геол. и почв.мелиор. условий. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1977. – Вып. 3. – С. 104-105.
250. Царенко В.П. Влияние высоких доз фосфорно-калийных удобрений на калийный режим торфяных низинных освоенных почв // Науч. труды ЛСХИ. – Л.: Пушкин, 1977. – С. 15-22.



251. Цветова Е.В. Создание нормативной базы эколого-мелиоративного мониторинга гумидной зоны Украины // Доклады научно-практической конференции «Экологические проблемы при водных мелиорациях»: Киев, 1996. – С. 99-103.
252. Шебеко В.Ф. Влияние осушительных мелиораций на водный режим территорий. – Минск: Урожай, 1983. – 200с.
253. Шебеко В.Ф. Испарение с болот и баланс почвенной влаги. – Минск: Урожай, 1965. – 394 с.
254. Шебеко В.Ф., Киселева А.И., Чернова И.А. К вопросу негативных последствий осушительной мелиорации // Тез. Докл. VIII Всесоюз. Конф. По мел. Геогр. Экологические и экономические аспекты мелиорации. Т.1. – Таллин, 1988. – С. 42-44.
255. Шевчук М.И., Фишук А.И. Влияние гранулированных органоминеральных удобрений на агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы // Модернизация мелиоративных систем и пути повышения эффективности использования осушаемых земель (Материалы конференции). – Минск: БелНИИМиЛ, 1998. – С. 156-162.
256. Шеин В.Е., Иванов А.Л., Бутылкина М.А. Пространственно-временная изменчивость агрофизических свойств комплекса серых лесных почв в условиях интенсивного сельскохозяйственного использования // Почвоведение, 2001. – №5. – С. 578-585.
257. Шелутко В.А. Численные методы в гидрологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 239 с.
258. Шенон Р. Иммитационное моделирование систем – искусство и наука. – М.: Мир, 1978. – 420 с.
259. Шишов Л.Л., Карманов, Дурманов. Критерии и модели плодородия почв. – М.: Агропромиздат, 1987. – 183 с.
260. Эталонные осушительные системы Украинского Полесья / Коллектив авторов под ред. В.Е.Алексеевского. – К.: ИГиМУААН, 1992. – 41 с.



261. Якушев А.И. Проектирование осушительно-увлажнительных систем в западных районах Украины // Повышение эффективности осушительно-увлажнительных систем: Сб. науч. тр. – К.: УкрНИИГиМ, 1985. – С. 77-82.
262. Янголь А.М. Двустороннее регулирование влажности при осушении. –М.: Колос, 1970. – 135с.
263. Янголь А.М. Нормативы расчетных модулей стока и основных элементов закрытого дренажа для проектирования осушительных систем в УССР. – К.: Укргипроводхоз, 1960. – 10 с.
264. Янголь А.М. Нормы осушения в зависимости от заданой влажности почвы и климатических факторов // Науч.тр.отделения гидротехники и мелиорации ВАСХНИЛ. – М.: Колос, 1971. – С. 26-35.
265. Claassen, N., and S.A.Barber. Simulation model for nutrient uptake from soil by a growing plant root system. Agron. J.68, 1976. – S. 961-964.
266. Erdelen M. Regelung von Beweidung und Mahd; ökologischen Begründung Naturschutzzentrum Nord-rhein-Westfalen. 1987. – H.3. – S. 24-26.
267. Linsly J., Kohler M., Paulhus J. Hydrology for Engineers. McGraw-Hill, New York, 1982. – 487 p.
268. Olszta W. Wpływ intensywnego osuszania gleb hydrologicznych na ich właściwości retencyjne i przewodzące. Wiad. IMUZ, t.19, z.3, Falenty, 1998. – s. 25–41.
269. Ozga-Zielinska M., Brzezinski J. Hydrologia stosowana.– Warszawa: PWN, 1997. – S. 278
270. Schenk, M.K., and S.A.Barber. 1979. Root characteristics of corn genotypes as related to phosphorus uptake. Agron. J.71: 921-924.

## ДОДАТКИ

### Додаток А

#### Додаткові матеріали до розділу 5

Таблиця А.1

Рівняння регресії, отримані при аналізі синхронних значень базових ґрунтових показників у за багаторічними даними моніторингу осушуваних земель західного Полісся та південно-західного лісостепу України

Назва ґрунтового показника	Рівняння регресії	Парний коефіцієнт кореляції	Оцінка множинного коефіцієнта кореляції			Стандартна похибка регресії $\sigma_0^2$
			Критерій Стьюдента $t_{крит}$	$t_{експ}$	Рівень значущості $\alpha, \%$	
ОС «Воробино». Пісок зв'язний некарбонатний. Станіонари 18, 19						
NO <sub>3</sub>	$Y_{18} = 0,301 + 0,791X_1$	0,834	2,65	5,45	0,01	0,846
	$Y_{19} = 0,131 + 0,880X_{18}$					0,893
NH <sub>4</sub>	$Y_{18}^* = 0,641 + 0,417X_{19}$	0,605	2,65	2,74	0,01	0,732
	$Y_{19}^* = -0,162 + 0,878X_{18}$					1,092
K <sub>2</sub> O	$Y_{18} = -0,370 + 0,939X_{19}$	0,793	2,681	4,15	0,01	0,67
	$Y_{19} = 0,917 + 0,669X_{18}$					0,56
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	$Y_{18}^* = 0,979 + 0,313X_{19}$	0,269	1,35	1,66	0,1	1,297
	$Y_{19}^* = 3,919 + 0,231X_{18}$					1,113
рН	$Y_{18} = 0,620 + 0,200X_{19}$	0,574	2,65	3,47	0,01	0,124
	$Y_{19} = 0,858 + 0,506X_{18}$					0,109
Eh	$Y_{18} = 2,274 + 0,653X_{19}$	0,761	2,76	3,71	0,01	0,116
	$Y_{19} = 0,461 + 0,911X_{18}$					0,139
гумус	$Y_{18} = 0,224 + 0,788X_{19}$	0,537	2,16	2,29	0,025	0,758
	$Y_{19} = 0,612 + 0,366X_{18}$					0,434
ОС «Воробино». Суглинок легкий не карбонатний. Станіонари 23, 29						
NO <sub>3</sub>	$Y_{23} = -0,049 + 1,003X_{29}$	0,933	2,65	9,42	0,01	0,661
	$Y_{29} = 0,224 + 0,869X_{23}$					0,615
NH <sub>4</sub>	$Y_{23} = 0,653 + 0,758X_{29}$	0,597	2,650	2,69	0,01	0,953
	$Y_{29} = 0,018 + 0,468X_{23}$					0,749
K <sub>2</sub> O	$Y_{23} = 0,055 + 0,766X_{29}$	0,662	2,650	3,59	0,01	0,881
	$Y_{29} = 1,00 + 0,577X_{23}$					0,768





продовження табл. А.1

Назва грун- тово- го пока- зника	Рівняння регресії	Пар- ний коє- фіці- єнт корє- ре- ляції	Оцінка множинного коєфіцієнта корєляції			Стан- дарт- на похи- бка ре- грєсії $\sigma_0^2$
			Кри- терій Стью- дєнта $t_{крит}$	$t_{експ}$	Рі- вень значу- чу- щості $\alpha, \%$	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	$Y_{23} = 1,361 + 0,348X_{29}$	0,347	1,079	1,33	0,15	0,853
	$Y_{29} = 2,914 + 0,347X_{23}$					0,852
рН	$Y_{23}^* = 1,313 + 0,182X_{29}$	0,179	1,079	1,34	0,15	0,126
	$Y_{29}^* = 1,599 + 0,176X_{23}$					0,124
Eh	$Y_{23} = 2,505 + 0,595X_{29}$	0,753	2,763	3,62	0,01	0,128
	$Y_{29} = 0,227 + 0,953X_{23}$					0,163
гумус	$Y_{23}^* = -0,116 + 1,006X_{29}$	0,522	2,160	2,21	0,025	0,654
	$Y_{29}^* = 1,155 + 0,271X_{23}$					0,340
ОС «Дєражне-Пєстїєне». Пїсок зв'язний. Стациєнари 44, 84, 51						
NO <sub>3</sub>	$Y_{44} = -0,247 + 0,535X_{84} + 0,419 X_{51}$	0,67	2,485	4,52	0,01	0,985
	$Y_{51} = 0,0901 + 0,326X_{44} + 0,475 X_{84}$	0,671	2,485	4,53	0,01	0,868
	$Y_{84} = 1,152 + 0,303X_{51} + 0,265X_{44}$	0,674	2,485	4,56	0,01	0,694
NH <sub>4</sub>	$Y_{44} = -0,534 + 0,594X_{84} + 0,646 X_{51}$	0,743	2,485	5,57	0,01	1,11
	$Y_{51} = 1,023 + 0,418X_{44} + 0,001 X_{84}$	0,614		3,90	0,01	0,89
	$Y_{84} = 0,788 + 0,001X_{51} + 0,474X_{44}$	0,622	2,485	3,98	0,01	0,99
K <sub>2</sub> O	$Y_{44} = -0,095 + 0,520X_{84} + 0,426 X_{51}$	0,948	2,508	14,1	0,01	0,475
	$Y_{51} = -0,186 + 0,732X_{44} + 0,382 X_{84}$	0,932		12,1		0,623
	$Y_{84} = 0,619 + 0,252X_{51} + 0,591X_{44}$	0,932		12,1		0,506
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	$Y_{44}^* = 2,515 + 0,406X_{84} + 0,012 X_{51}$	0,337	1,708	1,97	0,05	0,905
	$Y_{51}^* = 4,201 + 0,077X_{44} + 0,035 X_{84}$	0,05	1,316	1,35	0,1	0,68
	$Y_{84}^* = 2,377 + 0,05X_{51} + 0,329X_{44}$	0,368	1,708	1,99	0,05	0,810
рН	$Y_{44}^* = 1,055 + 0,115X_{84} + 0,260 X_{51}$	0,395	2,05	2,16	0,025	0,15
	$Y_{51}^* = 0,428 + 0,235X_{44} + 0,150 X_{84}$	0,379	1,708	2,05	0,05	0,182
	$Y_{84}^* = 0,885 + 0,194X_{51} + 0,307X_{44}$	0,286	1,316	1,50	0,1	0,244
Eh	$Y_{44}^* = 2,330 + 0,296X_{84} + 0,326 X_{51}$	0,439	1,383	1,46	0,1	0,177
	$Y_{51}^* = 2,783 + 0,122X_{44} + 0,443 X_{84}$	0,631	2,262	2,44	0,025	0,10
	$Y_{84}^* = 1,037 + 0,656X_{51} + 0,165X_{44}$	0,635	2,262	2,47	0,025	0,132
гумус	$Y_{44} = -0,077 + 0,504X_{84} + 0,511 X_{51}$	0,817	2,485	7,08	0,01	0,63
	$Y_{51} = 0,321 + 0,661X_{44} + 0,131X_{84}$	0,749	2,485	5,56	0,01	0,72
	$Y_{84} = 0,342 + 0,101X_{51} + 0,501X_{44}$	0,710		5,04	0,01	0,63
ОС «Язвинка». Пїсок зв'язний некарбонатний. Стациєнари 10, 1, 62						
NO <sub>3</sub>	$Y_{10} = -0,184 + 0,172X_{62} + 0,974X_1$	0,893	2,462	10,7	0,01	0,731



продовження табл. А.1

Назва грун- тово- го пока- зника	Рівняння регресії	Пар- ний коє- фіці- єнт корє- ре- ляції	Оцінка множинного коефіцієнта кореляції			Стан- дарт- на похи- бка ре- гресії $\sigma_0^2$
			Кри- терій Стью- дента $t_{крит}$	$t_{експ}$	Рі- вень значу- чущості $\alpha$ , %	
	$Y_1 = 0,224 + 0,487X_{10} + 0,276X_{62}$	0,912		12,0		0,517
	$Y_{62} = 0,244 + 0,731X_{10} + 0,227X_1$	0,832		8,10		0,840
NH <sub>4</sub>	$Y_{10} = 0,367 + 0,089X_{62} + 0,749X_1$	0,774		6,59		0,76
	$Y_1 = 0,278 + 0,684X_{10} + 0,085X_{62}$	0,744		6,59		0,727
	$Y_{62}^* = -0,147 + 0,334X_{10} + 0,322X_1$	0,449	2,045	2,71	0,025	1,44
K <sub>2</sub> O	$Y_{10} = 0,746 + 0,112X_{62} + 0,391X_1$	0,781	2,472	6,52	0,01	0,634
	$Y_1 = -0,115 + 0,971X_{10} + 0,338X_{62}$	0,809		7,17		1,00
	$Y_{62} = 0,043 + 0,447X_{10} + 0,368X_1$	0,684		4,87		1,15
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	$Y_{10} = 1,545 + 0,317X_{62} + 0,451X_1$	0,685	2,462	5,07	0,01	1,372
	$Y_1 = -0,465 + 0,702X_{10} + 0,060X_{62}$	0,627		4,34		1,71
	$Y_{62} = 2,469 + 0,051X_{10} + 0,404X_1$	0,474		2,91		1,55
рН	$Y_{10} = 0,347 + 0,885X_{62} - 0,101X_1$	0,881		10,0		0,385
	$Y_1 = 0,525 - 0,041X_{10} + 0,848X_{62}$	0,954		17,3		0,23
	$Y_{62} = -0,435 + 0,842X_{10} + 0,315X_1$	0,967		20,5		0,23
Eh	$Y_{10} = 1,189 - 0,266X_{62} + 1,086X_1$	0,862	2,552	7,22	0,01	0,131
	$Y_1 = -0,233 + 0,658X_{10} + 0,367X_{62}$	0,891		8,33		0,102
	$Y_{62} = 3,741 + 0,722X_{10} + 0,227X_1$	0,581		3,03		0,142
гумус	$Y_{10} = 0,032 - 0,05X_{62} + 0,751X_1$	0,875	2,462	9,76	0,01	0,566
	$Y_1 = -0,014 + 0,951X_{10} + 0,236X_{62}$	0,89		10,5		0,636
	$Y_{62} = 1,01 + 0,517X_{10} - 0,139X_1$	0,529		3,35		0,941
ОС «Головниця». Суглинок середній карбонатний. Станіонари 1, 10, 12						
NO <sub>3</sub>	$Y_1 = 0,429 + 0,059X_{10} + 0,751X_{12}$	0,924	2,499	11,6	0,01	0,435
	$Y_{12} = -0,139 + 0,691X_1 + 0,330X_{10}$	0,947		14,1		0,417
	$Y_{10} = -0,06 + 0,894X_{12} + 0,148X_1$	0,887		9,23		0,686
NH <sub>4</sub>	$Y_1 = -0,159 + 0,308X_{10} + 0,731X_{12}$	0,967		19,2		0,348
	$Y_{12} = 0,243 + 0,797X_1 + 0,106X_{10}$	0,959		17,0		0,363
	$Y_{10} = -0,06 + 0,894X_{12} + 0,148X_1$	0,923		11,9		0,53
K <sub>2</sub> O	$Y_1 = 0,704 + 0,593X_{10} + 0,205X_{12}$	0,922	2,508	11,2	0,01	0,442
	$Y_{12} = 0,127 + 0,504X_1 + 0,550X_{10}$	0,88		8,69		0,692
	$Y_{10} = -0,338 + 0,284X_{12} + 0,748X_1$	0,927		11,6		0,497
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	$Y_1 = 1,015 + 0,336X_{10} + 0,230X_{12}$	0,508	2,485	2,95	0,01	0,69
	$Y_{12}^* = 4,640 + 0,427X_1 - 0,341X_{10}$	0,395	2,059	2,14	0,025	0,943



продовження табл. А.1

Назва грун- тово- го пока- зника	Рівняння регресії	Пар- ний коє- фіці- єнт коре- ре- ляції	Оцінка множинного коефіцієнта кореляції			Стан- дарт- на похи- бка ре- гресії $\sigma_0^2$
			Кри- терій Стью- дента $t_{крит}$	$t_{експ}$	Рі- вень значу- чу- щості $\alpha, \%$	
	$Y_{10}=3,227-0,385X_{12}+0,704X_1$	0,534	2,485	3,16	0,01	1,002
рН	$Y_1=0,451+0,173X_{10}+0,613X_{12}$	0,808	2,499	6,59	0,01	0,04
	$Y_{12}=0,335+0,815X_1-0,0015X_{10}$	0,768		5,76		0,048
	$Y_{10}=0,204-0,005X_{12}+0,892X_1$	0,553		3,19		0,094
Eh	$Y_1=-0,497-0,710X_{10}+1,193X_{12}$	0,965	2,718	12,3	0,01	0,038
	$Y_{12}=0,346+0,335X_1+0,607X_{10}$	0,992		26,5		0,016
	$Y_{10}=-0,332+1,352X_{12}-0,295X_1$	0,984		18,7		0,025
гумус	$Y_1=0,312+0,173X_{10}+0,826X_{12}$	0,917	2,485	11,5	0,01	0,313
	$Y_{12}=-0,343+0,649X_1+0,333X_{10}$	0,928		12,5		0,284
	$Y_{10}=0,596+0,472X_{12}+0,202X_1$	0,834		7,56		0,339
ОС «Стубелка». Торф мулуватий карбонатний. Станіонари 32, 41						
NO <sub>3</sub>	$Y_{32}=0,840+0,50X_{41}$	0,61	2,517	3,53	0,01	1,01
	$Y_{41}=0,979+0,746X_{32}$					1,24
NH <sub>4</sub>	$Y_{32}=-0,197+0,809X_{41}$	0,809		6,31		0,814
	$Y_{41}=1,032+0,802X_{32}$					0,808
K <sub>2</sub> O	$Y_{32}=0,273+1,026X_{41}$	0,778	2,52	5,55	0,01	0,947
	$Y_{41}=0,840+0,591X_{32}$	0,719				
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	$Y_{32}^*=3,16+0,264X_{41}$	0,284	1,325	1,32	0,1	0,96
	$Y_{41}^*=3,476+0,305X_{32}$					1,035
рН	$Y_{32}=0,316+0,834X_{41}$	0,919	2,527	10,4	0,01	0,035
	$Y_{41}=-0,007+1,012X_{32}$					0,837
Eh	$Y_{32}=-0,062+1,011X_{41}$	0,993	2,68	30,5	0,01	0,023
	$Y_{41}=0,136+0,975X_{32}$					0,022
ОС «Іква». Суглинок важкий карбонатний. Станіонари 1, 18						
NO <sub>3</sub>	$Y_1=-0,418+0,960X_{18}$	0,835	2,485	7,60	0,01	0,815
	$Y_{18}=0,893+0,726X_1$	0,835	2,485	7,60	0,01	0,709
NH <sub>4</sub>	$Y_1=0,249+0,754X_{18}$	0,867		8,73		0,641
	$Y_{18}=0,139+0,998X_1$					0,738
K <sub>2</sub> O	$Y_1=0,636+0,672X_{18}$	0,904		9,94		0,559
	$Y_{18}=-0,175+1,216X_1$					0,752
рН	$Y_1=-0,0103+0,997X_{18}$	0,839	2,4998	7,40	0,01	0,057
	$Y_{18}=0,601+0,706X_1$					0,047





Таблиця А.2

Перевірка значущості коефіцієнтів кореляції. Іони водної витяжки.  
Дерново-підзолистий піщаний ґрунт. ОС «Язвинка» ( $\alpha=0,01$ )

Показник	K+Na		Ca <sup>2+</sup>		Cl <sup>-</sup>		SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
	Y <sub>10</sub>	Y <sub>62</sub>	Y <sub>10</sub>	Y <sub>62</sub>	Y <sub>10</sub>	Y <sub>62</sub>	Y <sub>10</sub>	Y <sub>62</sub>	Y <sub>10</sub>	Y <sub>62</sub>
<i>r</i>	0,49	0,49	0,04	0,04	0,12	0,12	0,53	0,53	0,19	0,19
<i>T</i> <sub>експ</sub>	2,303	2,303	0,164	0,164	0,504	0,504	2,589	2,589	0,794	0,794
<i>T</i> <sub>крит</sub>	2,898	2,898	2,898	2,898	2,898	2,898	2,898	2,898	2,898	2,898

Таблиця А.3

Перевірка значущості коефіцієнтів кореляції. Іони водної витяжки.  
Торфово-болотний ґрунт ОС «Стубелка» ( $\alpha=0,01$ )

Показник	K+Na		Ca <sup>2+</sup>		Cl <sup>-</sup>		SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
	Y <sub>32</sub>	Y <sub>41</sub>	Y <sub>32</sub>	Y <sub>41</sub>	Y <sub>32</sub>	Y <sub>41</sub>	Y <sub>32</sub>	Y <sub>41</sub>	Y <sub>32</sub>	Y <sub>41</sub>
<i>r</i>	0,61	0,61	0,26	0,26	0,28	0,28	0,52	0,52	0,15	0,15
<i>T</i> <sub>експ</sub>	2,902	2,902	0,997	0,997	1,072	1,072	2,306	2,306	0,581	0,581
<i>T</i> <sub>крит</sub>	2,977	2,977	2,977	2,977	2,977	2,977	2,977	2,977	2,977	2,977

Таблиця А.4

Перевірка значущості коефіцієнтів кореляції. Іони водної витяжки.  
Дерново-підзолистий піщаний ґрунт ОС «Деражне-Постійне» ( $\alpha=0,01$ )

Показник	K+Na		Ca <sup>2+</sup>		Cl <sup>-</sup>		SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
	Y <sub>44</sub>	Y <sub>51</sub>	Y <sub>44</sub>	Y <sub>51</sub>	Y <sub>44</sub>	Y <sub>51</sub>	Y <sub>44</sub>	Y <sub>51</sub>	Y <sub>44</sub>	Y <sub>51</sub>
<i>r</i>	0,67	0,67	0,07	-0,07	0,49	0,49	0,78	0,78	0,63	0,63
<i>T</i> <sub>експ</sub>	3,819	3,819	0,300	0,300	2,361	2,361	5,352	5,352	3,415	3,415
<i>T</i> <sub>крит</sub>	2,878	2,878	2,878	2,878	2,878	2,878	2,878	2,878	2,878	2,878

Таблиця А.5

Перевірка значущості коефіцієнтів кореляції. Іони водної витяжки.  
Сірий лісовий середньосуглинковий ґрунт ОС «Головниця» ( $\alpha=0,01$ )

Показ- ник	K+Na			Ca <sup>2+</sup>			Cl <sup>-</sup>			SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>			HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		
	Y <sub>1</sub>	Y <sub>12</sub>	Y <sub>10</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>12</sub>	Y <sub>10</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>12</sub>	Y <sub>10</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>12</sub>	Y <sub>10</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>12</sub>	Y <sub>10</sub>
<i>r</i>	0,38	0,52	0,53	0,92	0,91	0,70	0,71	0,73	0,65	0,26	0,46	0,47	0,89	0,91	0,92
<i>T</i> <sub>експ</sub>	1,72	2,61	2,65	9,80	9,38	4,21	4,30	4,49	3,63	1,13	2,21	2,23	8,50	9,12	10,1
<i>T</i> <sub>крит</sub>	2,88	2,88	2,88	2,88	2,88	2,88	2,88	2,88	2,88	2,88	2,88	2,88	2,88	2,88	2,88



Таблиця А.6

Перевірка значущості коефіцієнтів кореляції. Іони водної витяжки.  
Сірий лісовий важкосуглинковий ґрунт. ОС «Іква» ( $\alpha=0,01$ )

Показник	K+Na		Ca <sup>2+</sup>		Cl <sup>-</sup>		SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
	Y <sub>1</sub>	Y <sub>18</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>18</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>18</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>18</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>18</sub>
Залежність										
<i>r</i>	0,60	0,60	0,01	0,01	0,27	0,27	0,70	0,70	0,45	0,45
<i>T</i> <sub>експ</sub>	3,357	3,357	0,057	0,057	1,249	1,249	4,380	4,380	2,265	2,265
<i>T</i> <sub>крит</sub>	2,845	2,845	2,845	2,845	2,845	2,845	2,845	2,845	2,845	2,845

Таблиця А.7

Перевірка значущості коефіцієнта кореляції. Агрохімічні показники.

Сірий лісовий важкосуглинковий ґрунт. ОС «Іква» ( $\alpha=0,01$ )

Показник	NO <sub>3</sub>		NH <sub>4</sub>		K <sub>2</sub> O		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		pH <sub>KCl</sub>		Eh		Органічна речовина	
	Y <sub>1</sub>	Y <sub>18</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>18</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>18</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>18</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>18</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>18</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>18</sub>
Залежність														
<i>r</i>	0,84	0,84	0,87	0,87	0,90	0,90	0,02	0,02	0,84	0,84	0,96	0,96	0,52	0,52
<i>T</i> <sub>експ</sub>	7,60	7,60	8,74	8,74	9,95	9,95	0,11	0,11	7,41	7,41	13,6	13,64	2,882	2,882
<i>T</i> <sub>крит</sub>	2,79	2,79	2,79	2,79	2,82	2,82	2,79	2,79	2,81	2,81	2,90	2,90	2,819	2,819

Таблиця А.8

Перевірка значущості коефіцієнта кореляції. Агрохімічні показники.

Торфво-болотний карбонатний ґрунт. ОС «Іква» ( $\alpha=0,01$ )

Показник	NO <sub>3</sub>		NH <sub>4</sub>		K <sub>2</sub> O		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		pH <sub>KCl</sub>		Eh	
	Y <sub>26</sub>	Y <sub>12</sub>	Y <sub>26</sub>	Y <sub>12</sub>	Y <sub>26</sub>	Y <sub>12</sub>	Y <sub>26</sub>	Y <sub>12</sub>	Y <sub>26</sub>	Y <sub>12</sub>	Y <sub>26</sub>	Y <sub>12</sub>
Залежність												
<i>R</i>	0,51	0,51	0,85	0,85	0,81	0,81	0,75	0,75	0,78	0,78	0,98	0,98
<i>T</i> <sub>експ</sub>	2,66	2,66	8,01	8,014	6,38	6,38	5,66	5,66	5,96	5,96	21,46	21,46
<i>T</i> <sub>крит</sub>	2,85	2,85	2,79	2,79	2,82	2,82	2,79	2,79	2,81	2,81	2,90	2,90

Таблиця А.9

Перевірка значущості коефіцієнтів кореляції. Агрохімічні показники. Торфво-болотний ґрунт.

ОС «Стубелка» ( $\alpha=0,01$ )

Показник	NO <sub>3</sub>		NH <sub>4</sub>		K <sub>2</sub> O		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		pH <sub>KCl</sub>		Eh	
	Y <sub>32</sub>	Y <sub>41</sub>	Y <sub>32</sub>	Y <sub>41</sub>	Y <sub>32</sub>	Y <sub>41</sub>	Y <sub>32</sub>	Y <sub>41</sub>	Y <sub>32</sub>	Y <sub>41</sub>	Y <sub>32</sub>	Y <sub>41</sub>
<i>r</i>	0,61	0,61	0,81	0,81	0,78	0,78	0,28	0,28	0,92	0,92	0,99	0,99
<i>T<sub>експ</sub></i>	3,534	3,534	6,314	6,314	5,555	5,555	1,326	1,326	10,453	10,453	30,555	30,555
<i>T<sub>крит</sub></i>	2,831	2,831	2,831	2,831	2,845	2,845	2,845	2,845	2,845	2,845	3,055	3,055

Таблиця А.10

Перевірка значущості коефіцієнтів кореляції. Агрохімічні показники. Сірий лісовий середньосуглинковий ґрунт.

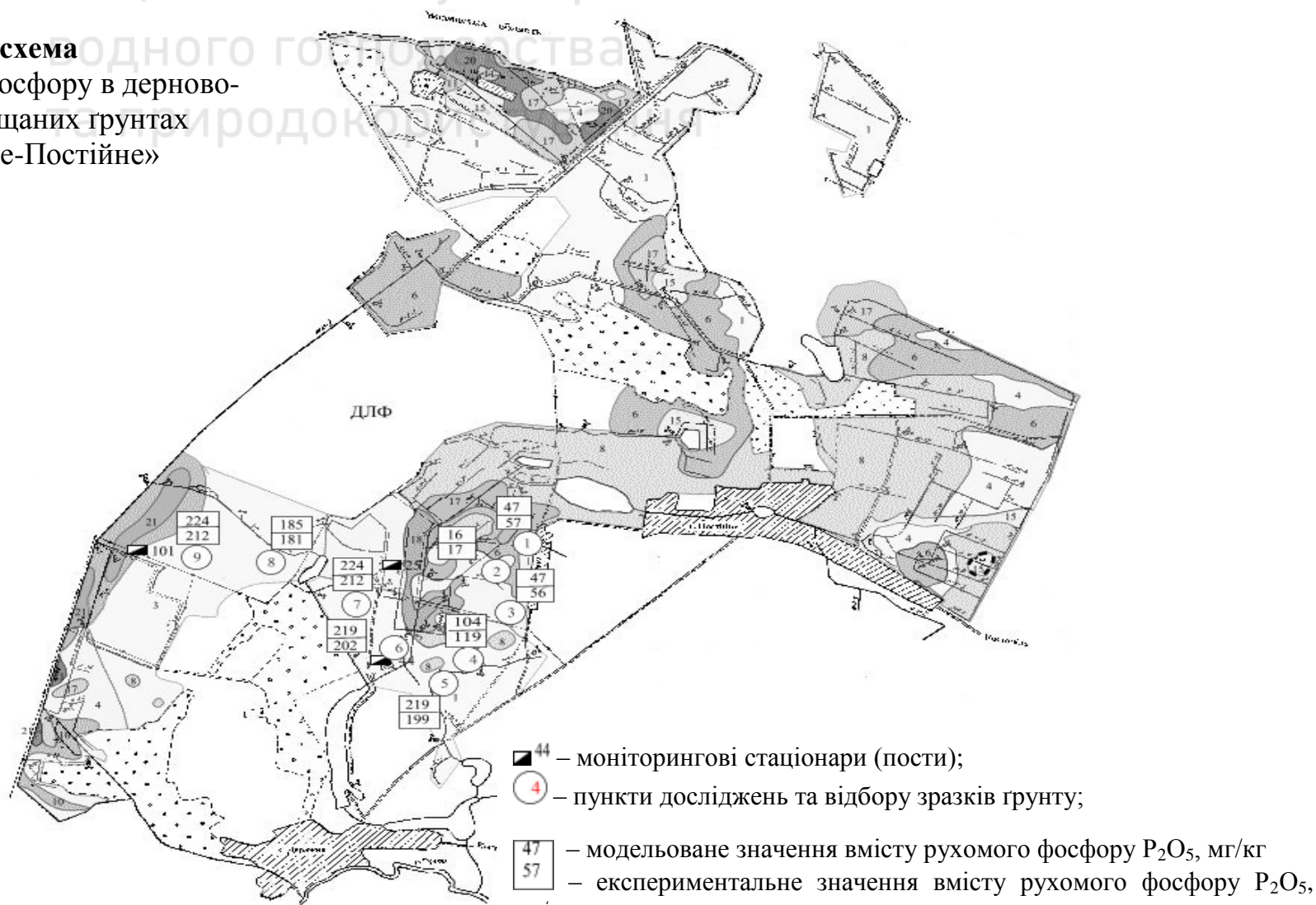
ОС «Головниця» ( $\alpha=0,01$ )

Показник	NO <sub>3</sub>			NH <sub>4</sub>			K <sub>2</sub> O			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			pH <sub>KCl</sub>			Eh			Органічна речовина		
	Y <sub>1</sub>	Y <sub>12</sub>	Y <sub>10</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>12</sub>	Y <sub>10</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>12</sub>	Y <sub>10</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>12</sub>	Y <sub>10</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>12</sub>	Y <sub>10</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>12</sub>	Y <sub>10</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>12</sub>	Y <sub>10</sub>
<i>r</i>	0,92	0,95	0,89	0,97	0,96	0,92	0,92	0,88	0,93	0,51	0,40	0,53	0,81	0,77	0,55	0,97	0,99	0,98	0,92	0,93	0,83
<i>T<sub>експ</sub></i>	11,64	14,15	9,234	19,25	17,06	11,99	11,22	8,69	11,63	2,953	2,150	3,162	6,592	5,759	3,191	12,31	26,53	18,71	11,53	12,49	7,558
<i>T<sub>крит</sub></i>	2,807	2,807	2,807	2,787	2,787	2,787	2,819	2,819	2,819	2,787	2,787	2,787	2,807	2,807	2,807	3,106	3,106	3,106	2,787	2,787	2,787

Додаток Б

Додаткові матеріали до розділу 5

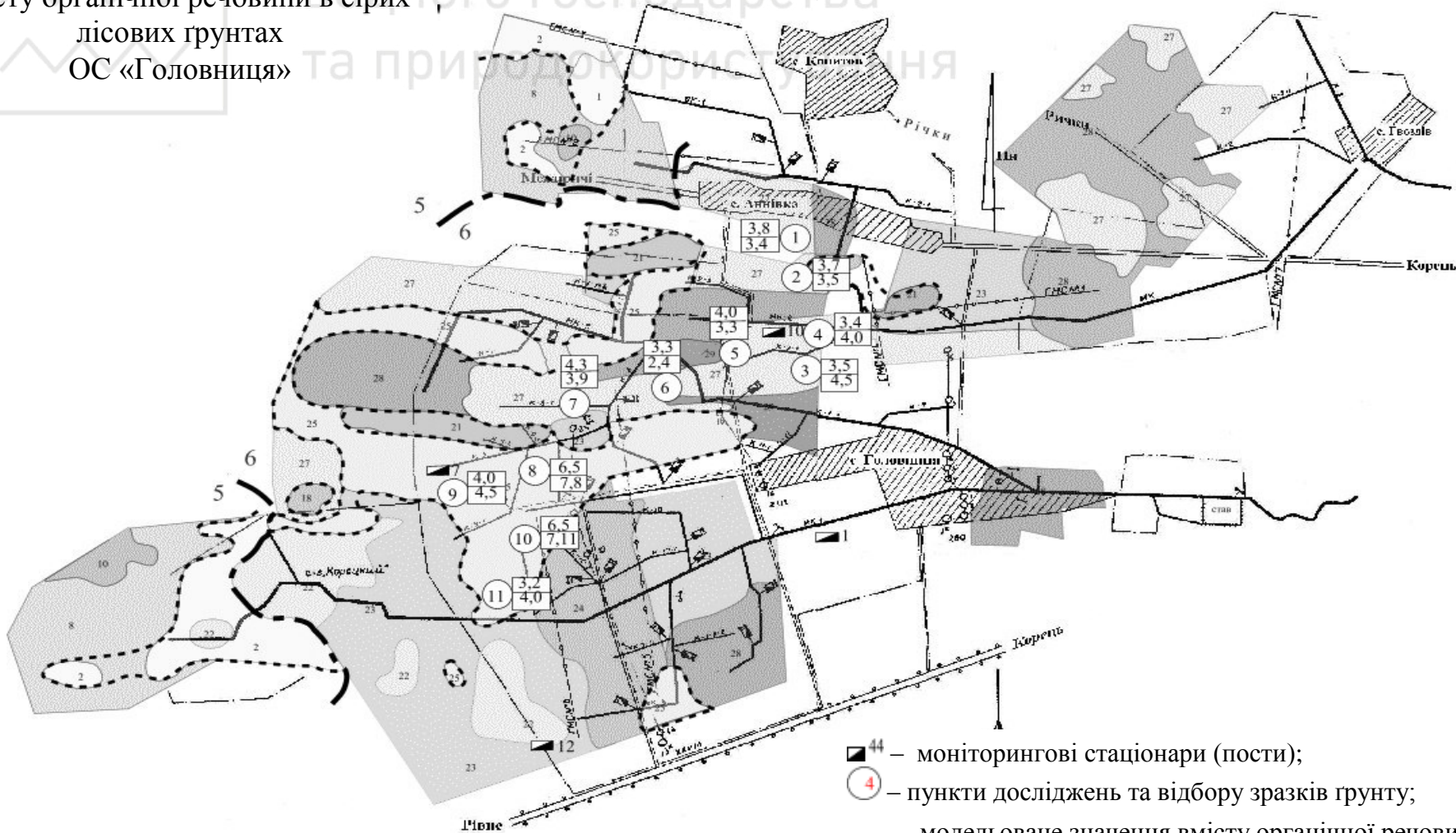
**Картосхема**  
вмісту рухомого фосфору в дерново-  
підзолистих піщаних ґрунтах  
ОС «Деражне-Постійне»





Додаток В  
Додаткові матеріали до розділу

**Картосхема**  
вмісту органічної речовини в сірих  
лісових ґрунтах  
ОС «Головниця»



- 44 – моніторингові стаціонари (пости);
- 4 – пункти досліджень та відбору зразків ґрунту;
- 47 – модельоване значення вмісту органічної речовини G,(%)
- 57 – експериментальне значення вмісту органічної речовини G,(%)