

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

**НАУКОВІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ,
МОДЕЛЮВАННЯ І РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ
ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ**

Навчально-методичний посібник
до вивчення курсу для здобувачів вищої освіти третього рівня
за спеціальністю Е2 «Екологія»

Електронний ресурс

Рецензенти:

Л. П. Царик – завідувач кафедри геоекології та гідрології географічного факультету Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка, доктор географічних наук, професор;

В. А. Пересадько – декан факультету геології, географії, рекреації і туризму Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, доктор географічних наук, професор.

*Затверджено до розміщення в мережі Інтернет рішенням Науково-методичної ради
Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна
(протокол № 1 від 23 жовтня 2025 року)*

- Наукові** основи дослідження, моделювання і раціонального використання природних ресурсів : навчально-методичний посібник для вивчення курсу для здобувачів третього рівня вищої освіти за спеціальністю Е2 «Екологія» [Електронний ресурс] / уклад. А. Б. Ачасов, І. М. Коваль, О. М. Крайнюков, Н. В. Максименко, А. Н. Некос, Г. В. Тітенко. – Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2025. – (PDF 154 с.)

Курс «Наукові основи дослідження, моделювання і раціонального використання природних ресурсів» є основним нормативним в освітньо-науковій програмі «Екологія» підготовки докторів філософії за спеціальністю 101 «Екологія». Він формує фахові компетентності і програмні результати навчання, що містить ОНП «Екологія». Мета курсу – сформувати у майбутніх докторів філософії чіткі уявлення щодо наукових основ дослідження, моделювання і раціонального використання природних ресурсів та висвітлити напрямки вирішення широкого кола проблем взаємовпливу природи і людини. Навчально-методичний посібник містить основні вимоги до вивчення кожного розділу та загальні вимоги до оцінювання.

Навчальне видання призначене для організації роботи здобувачів у закладах вищої освіти за спеціальністю Е2 «Екологія» третього (аспірантського) освітнього рівня.

УДК 502.1(072)

© Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2025

© Ачасов А. Б., Коваль І. М.,
Крайнюков О. М., Максименко Н. В.,
Некос А. Н., Тітенко Г. В., уклад., 2025

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП. ЗАГАЛЬНІ ЗАСАДИ ВИВЧЕННЯ КУРСУ	5
РОЗДІЛ 1. НАУКОВІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНОГО ФОНДУ ДЛЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ ЛАНДШАФТНОГО ТА БІОЛОГІЧНОГО РІЗНОМАНІТТЯ (проф. Максименко Н.В.)	11
1.1 Загальні положення	11
1.2 Теоретична складова	11
1.3. Семінар	21
1.4 Практична складова	22
1.5 Рекомендована література	23
РОЗДІЛ 2. ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА ТРОФОГЕОГРАФІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ (проф. Некос А.Н.)	25
2.1 Загальні положення	25
2.2 Теоретична складова	25
2.3. Семінар	32
2.4 Практична складова	36
2.5 Рекомендована література	36
РОЗДІЛ 3. ПРОСТОРОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИРОДНИХ ТА АНТРОПОГЕННИХ ПРОЦЕСІВ (проф. Ачасов А.Б.)	38
3.1 Загальні положення	38
3.2 Теоретична складова	38
3.3 Практична складова	58
3.4 Рекомендована література	62
РОЗДІЛ 4. УПРАВЛІННЯ ПРИРОДНИМИ РЕСУРСАМИ (доц. Тітенко Г.В.)	64
4.1 Загальні положення	64
4.2 Теоретична складова	64
4.3. Семінар	75
4.4 Практична складова	77
4.5 Рекомендована література	79
РОЗДІЛ 5. НАУКОВО-ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ БІОЛОГІЧНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА (проф. Крайнюков О.М.)....	81

5.1. Загальні положення	81
5.2 Теоретична складова	81
5.3. Семінар	89
5.4 Практична складова	91
5.5 Рекомендована література	104
РОЗДІЛ 6. ДЕНДРОІНДИКАЦІЯ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ ДЕНДРОХРОНОЛОГІЧНИМИ МЕТОДАМИ (проф. Коваль І.М.).	107
6.1 Загальні положення	107
6.2 Теоретична складова	107
6.3. Семінар	124
6.4 Практична складова	124
6.5 Рекомендована література	130
РОЗДІЛ 7. ЛАНДШАФТНО-ЕКОЛОГІЧНЕ ПЛАНУВАННЯ, ЯК УЗАГАЛЬНЮЮЧЕ ПІДґРУНТЯ РАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ (проф. Максименко Н.В.).....	133
7.1 Загальні положення	133
7.2 Теоретична складова	133
7.3. Семінар	149
7.4 Практична складова	150
7.5 Рекомендована література	152

ВСТУП. ЗАГАЛЬНІ ЗАСАДИ ВИВЧЕННЯ КУРСУ

Програма навчальної дисципліни «Наукові основи дослідження, моделювання і раціонального використання природних ресурсів» складена відповідно до освітньо-наукової програми підготовки докторів філософії спеціальності Е1 Екологія освітньої програми «Екологія».

Метою викладання навчальної дисципліни є сформувати у майбутніх докторів філософії чіткі уявлення щодо наукових основ дослідження, моделювання і раціонального використання природних ресурсів та висвітлити напрямки вирішення широкого кола проблем взаємовпливу природи і людини.

Перелік компетентностей, що формуються при вивченні курсу:

ЗК02. Здатність розв'язувати комплексні проблеми на основі системного наукового та загальнокультурного світогляду із дотриманням принципів професійної етики та академічної доброчесності.

СК01. Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у сфері екології та дотичних до неї міждисциплінарних напрямках, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.

СК02. Здатність ініціювати, розробляти і реалізовувати комплексні інноваційні проекти у сфері екології та дотичні до неї міждисциплінарні проекти, лідерство під час їх реалізації.

СК03. Здатність застосовувати сучасні інструменти, електронні інформаційні ресурси, спеціалізоване програмне забезпечення у науковій та навчальній діяльності, зокрема для моделювання процесів та прийняття оптимальних рішень у сфері екології, охорони природи та раціонального природокористування.

СК05 Здатність розробляти новітні наукові підходи і концепції для дослідження, моделювання і раціонального використання природних ресурсів, узагальнювати результати та готувати наукові публікації.

Основні програмні результати навчання

РН01. Глибоко розуміти концептуальні принципи та методологію природничих наук, формулювати і перевіряти гіпотези, використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема, результати теоретичного аналізу, експериментальних досліджень і математичного та/або комп'ютерного моделювання з метою розв'язання значущих наукових та науково-прикладних проблем екології.

РН02. Планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження з екології, охорони довкілля та оптимізації природокористування з

використанням сучасних інструментів, критично аналізувати результати власних досліджень і результати інших дослідників у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми.

РН03. Вільно презентувати та обговорювати державною та іноземною мовами з дотриманням норм академічної етики результати досліджень, наукові та прикладні проблеми з екології, охорони довкілля та оптимізації природокористування, кваліфіковано відображати результати досліджень у наукових публікаціях у провідних вітчизняних та міжнародних наукових виданнях.

РН06. Застосовувати сучасні інструменти та технології пошуку оброблення й аналізу інформації з проблем екології та дотичних питань, зокрема, статистичні методи аналізу даних великого обсягу та/або складної структури, спеціалізовані бази даних та інформаційні системи.

РН07. Мати сучасні концептуальні знання та високий методологічний рівень у сфері екології та на межі предметних галузей, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень.

РН08. Знати методологію наукових досліджень у предметній області та сучасних методів планування і постановки експериментів та розробляти новітні наукові підходи і концепції для дослідження, моделювання і раціонального використання природних ресурсів.

РН09. Розробляти комплекс заходів надійного контролю техногенного впливу на довкілля, створювати системи його захисту від шкідливих впливів

Кількість кредитів – 6.

Загальна кількість годин - 180.

Характеристика навчальної дисципліни

Обов'язкова	
1 семестр	2 семестр
Рік підготовки	
1	1
Лекції	
8 год.	6 год.
Практичні заняття	
16 год.	18 год.
Семінарські заняття	
12 год.	8 год.
Самостійна робота	
54 год.	58 год.

Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин					
	усього	у тому числі				
		лекції	семінарські	практичні	інд	с.р.
Тема 1. Наукові основи дослідження природно-заповідного фонду для збереження ландшафтного та біологічного різноманіття.	24	2	8	2		12
Тема 2. Теорія і практика трофогеографічних досліджень	22	2	2	4		14
Тема 3. Моделювання природних та антропогенних процесів	22	2	0	6		14
Тема 4. Управління природними ресурсами.	22	2	2	4		14
Тема 5. Науково-теоретичні засади використання біологічних методів дослідження стану навколишнього середовища.	30	2	2	6		20
Тема 6. Дендроіндикація лісових екосистем дендрохронологічними методами	30	2	2	6		20
Тема 7. Ландшафтно-екологічне планування, як узагальнююче підґрунтя раціонального природокористування	30	2	4	6		16
Усього годин	180	14	20	34		112

Теми семінарських занять

№ теми	Назва теми семінарського заняття	Кількість годин
1	Наукові дослідження в мережі природоохоронних територій Світу.	4
2	Наукові дослідження наслідків бойових дій на природоохоронних територіях	4
3	Доробок світової та української науки для становлення і розвитку трофогеографії. Вплив природних і антропогенних чинників на екологічну якість рослинних продуктів харчування.	2
4	Наукові платформи для обговорення питань управління природними ресурсами. Всесвітній форум ресурсів.	2
5	Місце біотестування і біоіндикації в системі екологічного моніторингу.	2
6	Індикація клімату та антропогенних впливів на лісові екосистеми дендрохронологічними методами	2
7	Система ЛЕП для територій різного функціонального призначення. Етапи і моделі ЛЕП.	6
	Разом	20

Теми практичних занять

№ теми	Назва теми практичного заняття	Кількість годин
1	Оцінка ступеню виконання об'єктом ПЗФ функції збереження ландшафтного і біорізноманіття шляхом оцінки виконання норм функціонального зонування НПП чи РЛП.	2
2	Важкі метали у системі «грунт – рослина - продукти харчування»	4
3	Проведення геоінформаційного аналізу рельєфу. Вимірювальні (картометричні) операції. Обчислення довжин, площ, об'ємів, форми об'єктів.	6
4	Характеристика функціональних і забезпечувальних підсистем господарського механізму природокористування.	4
5	Методика біотестування для визначення гострої летальної токсичності води на ракоподібних <i>Ceriodaphnia affinis</i> Lilljeborg.	6
6	Аналіз узагальнених хронологій. Вплив клімату, антропогенного навантаження та шкідників на радіальний приріст дерев	6
8	Аналіз конфліктів природокористування конкретної території згідно тематики власного дослідження	6
	Разом	34

Завдання для самостійної роботи

№ теми	Назва завдання для самостійної роботи	Кількість годин
1	Аналіз системи природозаповідання в країнах Європи, Америки, Азії, Африки з точки зору спрямованості наукових досліджень та реалізації міжнародних наукових програм.	14
2	Досвід вивчення екологічної якості продуктів харчування рослинного походження, що населення використовує повсякденно у своєму харчовому раціоні	14
3	Аналіз літературних джерел з проблематики моделювання природних та антропогенних процесів	14
4	Громадянське суспільство та управління природними ресурсами.	14
5	Специфічні особливості встановлення пунктів спостереження і вибору створів для відбору проб води і донних відкладень на водотоках і водоймах.	20
6	Діяльність камбію. Формування ранньої та пізньої деревини. Основні принципи дендрохронології. Дендроіндикація дендрохронологічними методами в лісівництві та судовій експертизі	20
7	Наукові напрямки, що розвиваються у світовому ландшафтознавстві, які мають спільні риси з ландшафтно-екологічним плануванням	16
	Разом	112

Методи навчання

- Методи організації та здійснення навчально-пізнавальної діяльності, що включають в себе:
 - словесні методи - розповідь-пояснення, бесіду, лекцію.
 - наочні методи - ілюстрація, демонстрація
 - практичні методи: досліди, вправи, навчальна праця. Лабораторні та практичні роботи, твори, реферати
- Методи стимулювання й мотивації навчально-пізнавальної діяльності, у т.ч. :
 - методи стимулювання інтересу до навчання;
 - методи стимулювання обов'язку й відповідальності.
- Методи контролю (самоконтролю, взаємоконтролю), корекції (самокорекції, взаємокорекції) за ефективністю навчально-пізнавальної діяльності, у т.ч.: систематичність обліку та контролю;
 - всеохопленість (усебічність, повнота) обліку та контролю;
 - диференційованість (за окремим предметом) та індивідуальність (за стилем і формами контролю);
 - об'єктивність оцінювання;
 - урізноманітнення видів і форм контролю в діяльності викладача;
 - єдність вимог до контролю з боку всього педагогічного колективу.
- Бінарні, інтегровані (універсальні) методи.
 - Бінарні - подвійні, коли метод і форма зливаються в єдине ціле або два методи поєднуються в один.
 - Інтегровані (універсальні) - це поєднання трьох-п'яти методів у єдине ціле під час організації навчання.

Методи контролю

Кожен розділ контролюється у трьох формах: опитування на семінарах, поточні самостійні роботи (письмова форма) та практичні роботи.

Кількість балів поточного контролю розраховується за формулою:

$$O = C + T + П$$

де С - кількість балів, отриманих на опитуваннях на семінарах,

Т - поточні самостійні роботи (письмова форма) , П- кількість балів, отриманих після виконання 7 практичних робіт.

Підсумкова оцінка (максимум 100 балів) складається з оцінки за поточний контроль, яка становить 60 балів (максимум) та оцінки за підсумковий семестровий контроль (екзамен), яка становить 40 балів (максимум).

Мінімальна кількість балів, які повинен набрати Здобувач під час

поточного контролю на всіх видах аудиторних занять протягом семестру – 30 балів, при цьому допуск до підсумкового семестрового контролю регламентується наступними умовами:

- всі практичні роботи виконані та оцінені позитивно (більше 50% загальної суми балів за кожну роботу);
- всі теми курсу мають позитивну оцінку (більше 50% загальної суми балів).

Схема нарахування балів

Розрахунок підсумкового семестрового контролю при проведенні семестрового заліку

Семінарські заняття, практичні роботи					Залік	Сума
Розділ 1	Розділ 2	Розділ 3	Розділ 4	Разом		
15	15	15	15	60	40	100

Розрахунок підсумкового семестрового контролю при проведенні семестрового екзамену.

Семінарські заняття, практичні роботи				Екзамен	Сума
Розділ 5	Розділ 6	Розділ 7	Разом		
20	20	20	60	40	100

РОЗДІЛ 1

НАУКОВІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНОГО ФОНДУ ДЛЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ ЛАНДШАФТНОГО ТА БІОЛОГІЧНОГО РІЗНОМАНІТТЯ.

1.1. Загальні положення

Науково-історичні передумови розвитку заповідної справи. Методологічні концепції заповідної справи. Наукові засади заповідної справи Категорії природно-заповідних територій МСОП (Міжнародний союз охорони природи). Міжнародна співпраця у заповідній справі. Регіональні і національні особливості заповідної справи. Міжнародні природоохоронні конвенції та угоди, „червоні” переліки видів. Конвенція про біологічне різноманіття, Конвенція про водно-болотні угіддя, Конвенція про збереження мігруючих видів диких тварин, Угода про збереження афро-євразійських мігруючих водно-болотних птахів, Конвенція про міжнародну торгівлю видами дикої фауни і флори, що перебувають під загрозою зникнення тощо. Структура управління у галузі охорони природи і природно-заповідної справи на національному, регіональному і місцевому рівнях. Адміністрації природно-заповідних установ, їхня структура і завдання.

Облік територій і об'єктів природно-заповідного фонду. Загальна характеристика природно-заповідного фонду України. Зонально-регіональний огляд заповідників і національних природних парків України. Завдання і структурні елементи екомережі, принципи та етапи її формування. Основні елементи національної екологічної мережі загальнодержавного значення, ландшафтно-зональні засади її формування. Місце транскордонних природоохоронних територій в національній екомережі.

1.2. Теоретична складова

Вивчення теорії з розділу структуроване за темами, у яких слід звернути увагу на основну інформацію, наведену нижче. Теоретична складова розділу охоплює лекційну роботу і самостійну роботу здобувача.

Заповідну справу можна визначити як теорію та практику збереження та відновлення природних комплексів і їх компонентів, а також їх раціонального використання в межах територій та об'єктів природно-заповідного фонду.

Об'єкти заповідної справи.

Традиційно в якості об'єктів наук чи сфер людської діяльності прийнято розглядати певні досліджувані сутності, пізнавані реалії, причому – безвідносно

їхніх матеріальних чи ідеальних іпостасей. У природничих науках і матеріальних видах діяльності їх об'єктами є звичайно матеріальні сутності, в гуманітарних – ідеальні. З цієї точки зору особливість заповідної справи полягає в тому, що вона охоплює як сутності чисто матеріального гатунку (наприклад, фізичну територію, певні природні об'єкти тощо), так і торкається питань гуманітарного змісту (наприклад, морально-етичних аспектів охорони природи, цінності природи, екологічної освіти та виховання тощо). Отож, вважати що об'єктом заповідної справи є лише території та об'єкти, які становлять природно-заповідний фонд або потенційно можуть бути до нього включеними, було б не зовсім точно. Ці території – лише арени, на яких практично вирішуються завдання заповідної справи. Об'єктивно ця справа охоплює широке коло питань, об'єктна сутність яких виходить далеко за межі конкретної природоохоронної території чи їх мережі.

Матеріальними об'єктами заповідної справи можуть виступати природні територіальні комплекси, їх компоненти (передусім – рослинність та тваринний світ, а також геологічні утворення, водні тіла, ґрунти та інші), які становлять цінність з природоохоронної точки зору. Зокрема, це природні комплекси у межах існуючих територій природно-заповідного фонду (далі – ПЗФ). Також матеріальними об'єктами заповідної справи можуть бути і природні комплекси та їх компоненти у межах територій, які зараз не входять до складу ПЗФ, але які становлять цінність з природоохоронної точки зору. Їх всебічне дослідження необхідне для вирішення питання щодо можливого заповідання таких територій та об'єктів. Збільшення числа та площі територій ПЗФ, оптимізація їх територіального розподілу по території держави, розбудова національної екомережі України є важливими напрямками заповідної справи. Відтак, у територіальному відношенні її об'єктом є мало не вся територія держави.

Знання наукових основ та організаційно-правових засад заповідної справи дозволяє розглянути її наступну частину, а саме створення та проектування територій ПЗФ. У цьому напрямку заповідної справи можна розрізнити три групи питань, наукове обґрунтування та правова база яких відрізняється певними особливостями. Ці питання такі: 1 - створення територій ПЗФ України, 2 - створення транскордонних природоохоронних територій, 3 – розбудова національної екомережі України на основі територій ПЗФ.

Після створення територій ПЗФ, в них проводиться відповідна діяльність. Отож наступною частиною при вивченні заповідної справи є група питань, пов'язаних із природоохоронною діяльністю на територіях та в об'єктах ПЗФ. Ця частина охоплює такі різноманітні питання, як режими охорони, порядок використання та контролю природоохоронних територій, рекреаційна, наукова,

освітньо-виховна та інші види діяльності в межах ПЗФ.

Наукові засади заповідної справи

Серед наукових основ заповідної справи однією з основних є розробка методів забезпечення охорони біорізноманіття на природно-заповідних територіях.

В Україні важливим завданням є встановлення того, в якій мірі біорізноманіття території нашої держави охоплене охороною на її природно-заповідних територіях – насамперед, вищих категорій – у природних та біосферних заповідниках, національних природних парках. Вони є важливими центрами охорони біорізноманіття. Проводяться дослідження, в якій мірі забезпечена нині така охорона і які заходи потрібні для підвищення забезпеченості біорізноманіття цією охороною. Насамперед, це стосується раритетної компоненти біорізноманіття – рідкісних видів рослин та тварин.

Із сучасним розвитком заповідної справи пов'язані такі її наукові основи як з'ясування та підвищення ролі природно-заповідних територій як важливої складової сталого розвитку держави та побудови її екологічної мережі.

В аспекті розвитку заповідної справи в т.ч. розвитку природно-заповідної мережі показниками сталого розвитку є:

1. Значна площа природно-заповідної території в абсолютній та відносній кількості (для країн Центральної Європи вона складає в середньому 6-8 % території держави).

2. Формування природно-заповідної мережі, яка стане "зеленим каркасом" екологічної мережі України.

3. Належний якісний (категорійний) склад природно-заповідної мережі, яка має об'єднувати крім науково цінних територій із режимом суворої заповідності та унікальних об'єктів, також поліфункціональні об'єкти та території із регламентованим режимом. Все це обумовлює можливість збереження різних груп біорізноманіття.

4. Наявність програми перспективного розвитку заповідної мережі держави, яка б враховувала попередні показники та їх позитивний розвиток.

5. Створення мережі міждержавних природно-заповідних територій, що в Європі з'єднують між собою заповідні мережі різних країн.

Поліфункціональність природно-заповідних територій

Функції природно-заповідних територій та їхній зміст зумовлюють відмінності між різними природно-заповідними категоріями. Виділяються:

- консерваційна,

- біоконсерваційна,
- біогенетична,
- наукова,
- інформаційна і документаційна,
- захисна екологічна,
- середовищезахисна,
- економічна,
- соціальна,
- природно-пізнавальна,
- освітня,
- ландшафтно-естетична,

Найбільше відповідали умовам України об'єкти із поліфункціональним режимом – національні природні та регіональні ландшафтні парки. У них різний за рівнем режим охорони втілений на одному об'єкті значної площі. Для цього на них здійснюється функціональне зонування. З точки зору наукових основ заповідної справи національні парки із поліфункціональним використанням їх території є принципово іншою формою охорони, ніж заповідники із суворим режимом невтручання. Недарма їх розвиток почався в кінці 19 сторіччя у країнах із ринковим господарством і приватною власністю на землю – у Сполучених Штатах Америки, згодом – у країнах Європи. Парки значно краще, ніж заповідники, "вписуються" у ринкову економіку – вони через короткий відрізок часу давали віддачу, тобто приносили прибуток, оскільки у своєму функціонуванні забезпечували платне проведення туризму, відпочинку на природі, екологічної освіти та виховання. З цією метою і зберігаються в них типові і відносно природні ділянки ландшафтів, рослинного та тваринного світу.

Міжнародна класифікація природно-заповідних територій

Збір інформації, її аналіз та підготовку пропозицій щодо світової практики заповідання здійснює авторитетна міжнародна громадська організація - Міжнародний союз охорони природи (далі – МСОП). В її рамках діє Всесвітня комісія з питань природоохоронних територій, яка тісно співпрацює з Міжнародним центром моніторингу довкілля у м. Кембриджі (Великобританія). У ньому знаходиться банк даних щодо усіх природоохоронних територій світу.

МСОП під природоохоронною (природно-заповідною) територією (англ. - a protected area) розуміє „ділянку суші та/або моря, що спеціально визначена для збереження біорізноманіття, природних та пов'язаних з ними культурних ресурсів, природоохоронний режим в межах якої забезпечується законодавчими та іншими ефективними засобами” і з 1992 р. визначає 6 категорій

природоохоронних територій.

Вищезазначені категорії МСОП є узагальненням світового досвіду заповідання цінних природних чи напівприродних територій та рекомендацією країнам для використання цього досвіду. Вона розглядається також, а останнім часом і використовується, як основа для уніфікації системи природоохоронних (природно-заповідних) територій, прийнятих у різних державах.

Таблиця 1.1. Категорії природно-заповідних територій МСОП

(за Davey, 1998; див. також: Андрієнко, Онищенко, Клєстов та інші, 2001).

Індекс категорії		Назва		Характер управління й охорони
		англійською	українською	
категорія I		Strict Protection	Територія суворої охорони	-
	Ia	Strict Nature Reserve	Природний резерват суворої охорони	управління спрямоване переважно на наукові дослідження
	Ib	Wilderness Area	Територія для збереження дикої природи	здійснюється охорона дикої природи без втручання в природні процеси
категорія II		National Park	Національний парк	управління з метою збереження екосистем та для цілей рекреації
категорія III		Natural Monument	Пам'ятка природи	управління з метою охорони специфічних природних рис
категорія IV		Habitat/Species Management Area	Територія для збереження природних середовищ і видів	здійснюється охорона певних типів природних середовищ та/або окремих видів флори і фауни чи їх груп
категорія V		Protected Landscape/Seascape	Територія охорони ландшафту / морська акваторія	поєднується збереження ландшафтів та/або акваторій і рекреація
категорія VI		Managed Resource Protected Area	Територія охорони ресурсів	збереження природних цінностей забезпечується шляхом сталого використання природних ресурсів

Міждержавні природоохоронні території

Наявність мережі міждержавних природно-заповідних територій, що в Європі з'єднують заповідні мережі різних країн, створюючи основу для спільних досліджень, є показником сталого розвитку держави.

У 65 країнах світу існує понад 100 таких територій, в Європі їх більше 50.

Це дуже актуально і для України, оскільки чимало її природно-заповідних територій продовжуються на територіях держав, що межують з нею. Європейські держави приділяють велику увагу екологічній значущості міждержавних природно-заповідних територій. Вони є тими "вузлами", які з'єднують між собою екологічні мережі різних країн. Вони у Всеєвропейській екомережі виконують одночасно роль центрів та екокоридорів.

Нині в Україні вже створено декілька міждержавних природно-заповідних територій, які є біосферними резерватами. Перший з них був створений в Карпатах у 1999 р. Національний природний парк "Ужанський" та Надсянський регіональний ландшафтний парк увійшли до складу першого у Центральній Європі трилатерального українсько-польсько-словацького біосферного резервату «*Східні Карпати*». В рівнинній частині України створений Дунайський біосферний заповідник, який входить до складу міждержавного українсько-румунського біосферного резервату «*Дельта Дунаю*». В 2002 р. був затверджений ЮНЕСКО українсько-польсько-білоруський біосферний резерват «*Західне Полісся*», до якого з українського боку увійшов Шацький національний природний парк.

Структура природно-заповідного фонду України.

Згідно з базовим Законом у сфері заповідної справи "Про природно-заповідний фонд України", природно-заповідний фонд становлять ділянки суші і водного простору, природні комплекси та об'єкти яких мають особливу природоохоронну, наукову, естетичну, рекреаційну та іншу цінність і виділені з метою збереження природної різноманітності ландшафтів, генофонду тваринного і рослинного світу, підтримання загального екологічного балансу та забезпечення фонового моніторингу навколишнього природного середовища, які охороняються як національне надбання. Цей фонд є складовою частиною світової системи природних територій та об'єктів, що перебувають під особливою охороною.

Згідно з даними Державного кадастру природно-заповідного фонду, на початку 2021 року нараховувалося 8633 території та об'єкти природно-заповідного фонду загальною площею 4,1 млн га, тобто 6,8 % площі країни

Території та об'єкти природно-заповідного фонду (далі – ПЗФ) за своїм походженням поділяються на *природні* території й об'єкти та на штучно створені об'єкти. Нині в Україні існує 11 категорій ПЗФ, у т.ч. 7 природних - природний заповідник, біосферний заповідник, національний природний парк, регіональний ландшафтний парк, заказник, пам'ятка природи, заповідне урочище, а 4 категорії ПЗФ є *штучно створеними* об'єктами - ботанічний сад, дендрологічний парк,

зоологічний парк, парк-пам'ятка садово-паркового мистецтва. Категорія, до якої відноситься певна територія чи об'єкт ПЗФ, визначається відповідно до того цільового призначення та тих функцій і завдань, які дана територія чи об'єкт мають виконувати.

Крім поділу територій та об'єктів ПЗФ за їх походженням, вони розрізняються також і за значенням. Залежно від екологічної, наукової, історико-культурної, естетичної, оздоровчої та іншої цінності території та об'єкти ПЗФ можуть бути *загальнодержавного* чи *місцевого* значення. При цьому ряд категорій ПЗФ можуть бути як загальнодержавного, так і місцевого значення (це стосується заказників, пам'яток природи, ботанічних садів, дендрологічних парків, зоологічних парків та парків-пам'яток садово-паркового мистецтва). Регіональні ландшафтні парки і заповідні урочища є категоріями ПЗФ місцевого значення. А природні заповідники, біосферні заповідники і національні природні парки створюються лише на загальнодержавному рівні, при цьому біосферні заповідники є категорією ПЗФ міжнародного значення, оскільки створення і функціонування всіх територій цього типу вимагає дотримання не лише національних, а й міжнародних процедур, при цьому всі біосферні заповідники є елементами відповідної глобальної мережі, загальний реєстр якої ведеться Програмою ЮНЕСКО „Людина і біосфера”.

Категорії ПЗФ можна також класифікувати за юридичним статусом. Згідно з чинним законодавством, *статус юридичної особи* мають природні заповідники, біосферні заповідники, національні природні парки, регіональні ландшафтні парки, а також ботанічні сади, дендрологічні парки та зоологічні парки загальнодержавного значення. Заказниками, пам'ятками природи чи заповідними урочищами оголошуються території й об'єкти *без надання їм статусу юридичної особи*. Ботанічні сади, дендрологічні парки, зоологічні парки місцевого значення та парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва можуть бути визнані юридичними особами або оголошуватись територією ПЗФ без такого статусу.

Природні заповідники - це природоохоронні, науково-дослідні установи загальнодержавного значення. Згідно чинного законодавства, ділянки землі та водного простору з усіма природними ресурсами повністю вилучаються з господарського використання та надаються заповідникам у безстрокове (постійне) користування. Основними функціями природних заповідників є: природоохоронна (сприяння збереженню біологічного, екосистемного і ландшафтного різноманіття) та наукова (вивчення функціонування екосистем, здійснення наукових спостережень за ходом природних процесів).

На сьогодні в Україні існує 19 природних заповідників. Їх загальна площа

становить 206,6 тис. га, що складає 5,04 % від площі всього ПЗФ і 0,34 % від площі України.

Біосферні заповідники (біосферні резервати - БР). Створення Світової мережі біосферних резерватів розпочато у 1970-их роках за ініціативою ЮНЕСКО та МСОП. Репрезентативність мережі біосферних резерватів забезпечується тим, що в основу її створення покладено біогеографічне районування Землі. До БР мають включатися території, які відзначаються наступними рисами: в їх межах поширені типові для біогеографічних регіонів ландшафти, тут поширені біотопи рідкісних видів флори і фауни, рідкісні фітоценози, зооценози, рідкісні або унікальні екосистеми та ландшафти. Крім того, до складу території БР можуть включатись і доволі суттєво модифіковані ландшафти, якщо вони можуть бути відновлені до близького до природного стану. Таким чином, БР розглядається як система, в межах якої сполучаються природні екосистеми та ділянки різного ступеня освоєння й використання. Основною передумовою для варіювання режимів охорони та використання території БР є диференціація його територіальної структури, тому при створенні БР висувається вимога функціонального зонування території.

На сьогодні в Україні, відповідно до чинного законодавства статус біосферних заповідників мають Асканія-Нова ім. Ф. Е. Фальц-Фейна, Чорноморський, Карпатський, Чорнобильський радіаційний та Дунайський. Поряд із ними до Світової мережі біосферних резерватів ЮНЕСКО включені Ужанський національний природний парк з Надсянським регіональним ландшафтним парком у складі українсько-польсько-словацького транскордонного біосферного резервату “Східні Карпати” та Шацький національний природний парк під назвою Шацького біосферного резервату, який є частиною українсько-польсько-білоруського міжнародного біосферного резервату “Західне Полісся”.

Загальна площа біосферних заповідників (резерватів) України становить 479,1 тис.га, або 11,69 % від площі ПЗФ та 0,79 % від площі держави.

Національні природні парки. Досвід створення та діяльності НПП свідчить, що проблема планування його території має принципово важливе значення. Функціональне зонування території НПП здійснюється для створення умов, необхідних для виконання цією територією її різноманітних, в тому числі суперечливих, функцій, а також для організації практичної природоохоронної діяльності. Відповідно до ЗУ «Про природно-заповідний фонд України» на території НПП, з урахуванням природоохоронної, оздоровчої, наукової, рекреаційної, історико-культурної та інших цінностей природних комплексів та об’єктів, виділяються чотири функціональні зони НПП: заповідна, регульованої

рекреації, стаціонарної рекреації, господарська.

На сьогодні в Україні існує 53 НПП. Їх загальна площа становить 1387,1 тис. га, що складає близько 33,83% від площі ПЗФ і 2,3% від площі держави.

Регіональні ландшафтні парки як організаційна форма охорони природи в Україні почав застосовуватись з 1990 року, коли був створений перший в Україні РЛП “Дністровський каньйон” у Тернопільській області. Як категорія природно-заповідного фонду РЛП був введений в нашої країні 1992 року ЗУ “Про природно-заповідний фонд України”. РЛП в Україні є природоохоронними рекреаційними установами місцевого чи регіонального значення, що створюються з метою збереження в природному стані типових або унікальних природних комплексів та об'єктів, а також забезпечення умов для організованого відпочинку населення. Особливістю РЛП та їх основною відмінністю від НПП є те, що вони в більшій мірі, ніж національні парки, поєднують в собі природоохоронні та суто соціальні функції. Основними завданнями РЛП є збереження цінних природних та історико-культурних комплексів та об'єктів, відтворення порушених природних комплексів, створення умов для ефективного туризму, відпочинку та інших видів рекреаційної діяльності в природних умовах, сприяння екологічній освітньо-виховній роботі. Таким чином РЛП є багатофункціональними заповідними об'єктами, де можуть бути виділені такі зони: заповідна, регульованої рекреації, стаціонарної рекреації, господарська. Формування мережі РЛП в Україні відбувається швидкими темпами. На 01.01.2021 р. уже в різних регіонах України діяло 328 РЛП. Їх, загальна площа становить близько 828,7 тис. га, або 20,21% від площі ПЗФ та 1,37% від площі держави.

Заказники є однією з найбільш розповсюджених в Україні категорій заповідних об'єктів і мають суттєве значення в мережі її ПЗФ. Заказниками оголошуються природні території (акваторії) з метою збереження і відтворення природних комплексів чи їх окремих компонентів. Вони виконують функції збереження та відтворення природних комплексів, видів чи природних ресурсів, підтримання загального екологічного балансу. Залежно від своєї природоохоронної, екологічної, наукової й іншої цінності заказники можуть бути загальнодержавного чи місцевого значення. Залежно від цільового призначення та необхідного режиму охорони заказники поділяються на типи: ландшафтні, лісові, ботанічні, загальнозоологічні, орнітологічні, ентомологічні, іхтіологічні, гідрологічні, загальногеологічні, палеонтологічні, карстово-спелеологічні.

Природно-заповідний фонд України має в своєму складі (станом на 1.01.2021 р.) 3398 заказників, із яких 328 мають загальнодержавне значення.

Частка кількості заказників від загальної кількості територій і об'єктів ПЗФ становить близько 39,4 % а їх загальна площа - близько 35 % від площі ПЗФ і 2,38 % від площі держави.

На 2021 рік в Україні крім названих категорій функціонує 3580 пам'яток природи, 802 заповідних урочища, 28 ботсадів, 13 зоопарків, 62 дендропарки та 588 парків-пам'яток садово-паркового мистецтва.

Екологічна мережа України як складова Всеєвропейської екомережі.

Екомережа це єдина територіальна система, яка утворюється з метою поліпшення умов для формування та відновлення довкілля, підвищення природно-ресурсного потенціалу території України, збереження ландшафтного та біорізноманіття, місць оселення та зростання цінних видів тваринного і рослинного світу, генетичного фонду, шляхів міграції тварин через поєднання територій та об'єктів природно-заповідного фонду, а також інших територій, які мають особливу цінність для охорони навколишнього природного середовища і відповідно до законів та міжнародних зобов'язань України підлягають особливій охороні (Закон України “Про екологічну мережу України”).

Ідею створення Всеєвропейської екологічної мережі (European Ecological Network або EECONET) як системи взаємно поєднаних, цінних з екологічної точки зору природних територій, було запропоновано групою голландських дослідників у 1993 р. на Міжнародній конференції “Охорона природної спадщини Європи через створення Європейської екологічної мережі” (м. Маастріхт, Нідерланди). Вона органічно інтегрується в ідею сталого розвитку та є одним з потужних інструментів її втілення.

Відповідно до Загальнодержавної програми формування національної екологічної мережі України на 2000-2015 роки, природні регіони, природні коридори та буферні зони у своїй безперервній єдності утворюють мережу, яка об'єднує ділянки природних ландшафтів у територіально цілісну систему. З огляду на функції, площу, видовий склад рослинного і тваринного світу в національній екологічній мережі виділяють елементи міжнародного, загальнодержавного та місцевого значення.

На території України виділяють такі національні екокоридори: Поліський, Галицько-Слобожанський, Південноукраїнський, Прибережно-морський, Дністровський, Бузький, Дніпровський, Сіверсько-Донецький.

1.3. Семінар

Використовуючи матеріал лекції та додаткові матеріали, що вивчені під час самостійної роботи необхідно підготуватись до семінару за такими питаннями:

1. Дайте визначення поняття «заповідна справа».
2. Визначте основну мету і головні завдання заповідної справи.
3. Визначте наукове, соціально-економічне та загальнокультурне значення заповідної справи.
4. Яким чином відбувається збагачення живої природи за рахунок заповідних територій?
5. Які, на вашу думку, існують труднощі, пов'язані із втіленням наукового підходу щодо збереження унікальних природно-заповідних територій/об'єктів?
6. Яка проблема сталого розвитку пов'язана із заповідною справою?
7. Чи існує, на вашу думку, зв'язок між соціально-економічним розвитком держави та площею природно-заповідного фонду?
8. Визначте необхідність розвитку наукових засад заповідної справи в Україні.
9. Вкажіть основні нормативно-правові акти, що регламентують проведення наукових досліджень у галузі заповідної справи в Україні.
10. Визначте пріоритетні наукові завдання, що сьогодні стоять перед галуззю заповідної справи.
11. Охарактеризуйте передумови, які будуть сприяти успішному виконанню науково-практичних завдань заповідної справи в Україні.
12. Вкажіть основні категорії природно-заповідних територій за класифікацією МСОП.
13. Визначте головні фактори, які обумовлюють гостру необхідність розбудови територій та об'єктів особливої державної охорони в межах території України.
14. В чому полягає різниця між поняттями «природоохоронна територія», «природно-заповідний фонд», «природні території та об'єкти, що підлягають особливій охороні»?
15. Визначте мету організації територій та об'єктів природно-заповідного фонду.
16. Вкажіть категорії територій та об'єктів природно-заповідного фонду України.
17. Розкрийте ознаки, за якими розрізняються категорії територій та об'єктів природно-заповідного фонду.

18. Вкажіть головні інструменти забезпечення збереження територій та об'єктів природно-заповідного фонду України.
19. Вкажіть ознаку, за якою встановлюється рівень охоронного режиму природно-заповідного фонду.
20. Розкрийте категорії природно-заповідного фонду, для яких встановлюється уніфікований/диференційований режим охорони.

1.4. Практична складова

Тема: Порівняльна оцінка зонування НПП або РЛП з нормативами.
Мета визначити ступінь відповідності функціонального зонування в обраних НПП та РЛП нормативам .

Для довідки:

Співвідношення зон в НПП регулюється ДБН Б.2.2-12:2019 Планування та забудова територій. Видання офіційне. Київ : Мінрегіон України, 2019. 183 с. Стор.57.

При проєктуванні територій НПП і РЛП слід виділяти такі функціональні зони:

- Заповідну, яка повинна займати площу, що становить 20% від території парку;
- Регульованої рекреації - повинна становити 35% і більше від території парку;
- Стаціонарної рекреації має становити 10% і більше від території парку;
- Господарська зона - може складатись із населених пунктів, виробничих, комунальних, інфраструктурних об'єктів, земельних ділянок для забезпечення потреб парку (5-10%). Загалом зона може складати 15-35% території парку.

Завдання 1.

Сформуйте комплект картосхем зонування 2-х НПП.

<https://wownature.in.ua/parky-i-zapovidnyky/>

Завдання 2. Заповніть табл. 1.2, зробивши розрахунок відсотку, який займає кожна зона у кожному НПП.

Таблиця 1.2.

НПП		Площа км ² /га	Заповідна зона 20%		Регульованої рекреації 35%		Стаціонарної рекреації 10%		Господарська зона 15-35%	
Норма			%	км ² / га	%	км ² / га	%	км ² /га	%	км ² /га
Назва НПП	реальна									
	розрахунок									

2. На основі отриманих даних, проаналізуйте ступінь відхилення від норми та зробіть висновок стосовно наслідків такої невідповідності.
3. Порівняйте НПП за цими показниками між собою.

1.5. Рекомендована література

1. Заповідна справа в Україні: Навчальний посібник. / За загальною редакцією М.Д. Гродзинського, М.П. Стеценка. – К.: 2003. - 306 с.
2. Андронов В.А., Варивода Є.О., Тітенко Г.В. Заповідна справа: навч. посіб. Харків: НУЦЗУ, 2013. 204с.
3. Максименко Н. В., Клещ А. А., Квартенко Р. О.. Територіальна організація регіональної екологічної мережі Харківської області на ландшафтній основі : монографія. Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2022. – 200 с. - <http://dspace.univer.kharkov.ua/handle/123456789/18127>
4. Ландшафтно-екологічне планування і формування екологічної мережі [Текст] : навч. посіб. / М. В. Боярин, Н. В. Максименко, З. К. Карпюк. – Луцьк : Вежа-Друк, 2024. – 356 с.
<https://evnuir.vnu.edu.ua/handle/123456789/27497>
5. Царик Л.П. Заповідна справа. Навчальний посібник. Тернопіль: СМП «Тайп», 2013. 256 с.
6. Максименко Н. В., Федяй В. А., Добронос П. А., Просторово-часова оцінка формування природно-заповідного фонду Сумської області. Людина та довкілля. Проблеми неоекології. 2020. Т. 34, с. 121-132. Харків: Вид-во ХНУ, DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2020-34>
7. Максименко Н. В., Шумілова А. В., Калиновський О. І. Екологічна цінність заплави річки Мерла для функціонування НПП «Слобожанський». Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна серія «Екологія». 2020. № 22. С. 21-31. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-22-02>
8. Максименко Н. В., Федяй В. А. Визначення відповідності площ зон НПП Гетьманський нормативам та встановлення рекреаційної ємності парку. Охорона довкілля: зб. наук. статей XVII Всеукраїнських наукових Таліївських читань. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2021. С. 104 – 106.
9. Максименко Н. В., Федяй В. А. Оцінка ефективності природно-заповідного фонду Сумської області за індексом інсуляризованості. Фізична географія та геоморфологія (2021) 1-3 (105-107) 30-34. <https://doi.org/10.17721/phgg.2021.1-3.04>
10. Максименко Н. В., Квартенко Р. О. Оцінка розподілу складових екологічної мережі у межах ландшафтів Харківської області. *Проблеми безперервної географічної освіти та картографії* : збірник наукових праць. Харків, 2015. Випуск 22. С. 82–86. URL: <https://periodicals.karazin.ua/pbgok/article/view/4053/3638>
11. Максименко, Н. В., Пересадько, В. А., Сінна, О. І., Клещ, А. А., & Баскакова, Л. В. (2021). ІТ-технологія встановлення меж заповідних територій в умовах

- земельної реформи в Україні. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*, 36, 111-122. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2021-36-09>
12. Кононова К. А., Максименко Н. В. Порівняльна оцінка індексів інсуляризованості природно-заповідного фонду Івано-Франківської і Черкаської областей України. *Охорона довкілля: зб. наук. статей XIX Всеукраїнських наукових Таліївських читань*. 2023. С. 171-173. <https://ecology.karazin.ua/wp-content/uploads/2024/05/taliev-2023.pdf>
13. Parkhomenko O. O., Maksymenko N. V., Cherkashyna N. I. Assessment of the implementation of functional zoning regulations by National Nature Parks of Ukraine / Ecology is a priority : all-Ukrainian English-speaking student conference, march 14, 2025, Kharkiv. Kharkiv: V. N. Karazin National University, 2025. – P. 95 (PDF) URL: <https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/20978>
14. Максименко Н., Пархоменко О. Інтерактивна карта на платформі ArcGIS актуального стану функціонального зонування національних природних парків України / *Інформаційні технології у сфері захисту довкілля: матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції*, 15–16 травня 2025 р. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2025. – С. 48-51. Режим доступу: <https://science.lpnu.ua/uk/itep-2025/materialy-konferenciyi-itep-2025>

РОЗДІЛ 2.

ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА ТРОФОГЕОГРАФІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Загальні положення

Трофогеографія один з нових наукових напрямків, що передбачає вивчення якості продуктів харчування рослинного походження. Показники якості формуються під впливом природних, соціально-економічних, антропогенних та інших факторів (умов), які функціонують (існують) у геосистемах і впливають на життєдіяльність живої речовини. Розвиток нового наукового напрямку трофогеографії потребує підготовки відповідних фахівців для вирішення проблем екологічної якості продуктів харчування рослинного походження, що населення використовує повсякденно у своєму харчовому раціоні.

2.2. Теоретична складова

Вивчення теорії з розділу структуроване за темами, у яких слід звернути увагу на основну інформацію, наведену нижче.

Грунтове надходження мікроелементів до рослин

Основним джерелом надходження хімічних елементів до рослинних культур є середовище їх живлення. Оскільки розвиток переважної більшості рослин одночасно проходить у двох середовищах – ґрунті та нижньому шарі атмосфери, для них характерними є два типи живлення – кореневе та позакореневе. В. А. Ковда підкреслює, що 60–70 % кореневої системи переважної більшості рослин зосереджено у верхньому 30–50 см шарі ґрунту. У приповерхневому шарі (0–20 см), як правило, концентруються важкі метали у формі обмінних іонів у складі комплексів гумусових речовин, карбонатів, оксидів та гідроксидів Al, Fe та Mn, що перешкоджає міграції важких металів вниз по ґрунтовому профілю.

У ґрунтовому розчині важкі метали доступні рослинам у формі водорозчинних сполук та іонообмінних катіонів металів. Частка водорозчинної форми невелика, проте при сильному забрудненні абсолютна кількість водорозчинних важких металів стає самостійним екологічно небезпечним фактором. Поглинання мікроелементів коренями може бути пасивним (неметаболічним) та активним (метаболічним). Пасивне поглинання відбувається шляхом дифузії іонів із ґрунтового розчину в ендодерму коренів (осмос) за градієнтом концентрацій. Активне поглинання направлене проти хімічного градієнта та забезпечується за допомогою активного метаболічного переносу хімічних елементів, катіонного обміну, піноцитозу переносу всередині

клітини хілатоутворюючими речовинами та іншими агентами-переносниками. Активне поглинання є свідченням здатності рослин вибірково поглинати хімічні елементи, на що вказує варіація їх коефіцієнту біологічного поглинання. Проте, явище вибіркового живлення не є абсолютним, адже співвідношення активного та пасивного механізмів поглинання хімічних елементів значно залежить від їх концентрації у ґрунті. Як зазначає Ю. В. Алексєєв, явище селективного поглинання має місце лише у разі живлення із урівноважених ґрунтових розчинів із низькою концентрацією мінеральних речовин. Тому при наявності у довкіллі високих концентрацій поллютантів відбувається порушення іонної рівноваги, що значною мірою подавляє процеси регуляції, стимулюючи неметаболічне дифузне проникнення забруднюючих речовин.

Аеральне надходження мікроелементів до рослин

У результаті антропогенного забруднення атмосфери зростає ризик надходження токсичних елементів до рослин разом із атмосферними опадами та в результаті осідання із повітря на листову поверхню, стебла та плоди пилу, що містить металовмісні частинки. Так, за дослідженнями Дугласа П. Орморда, забруднення рослинності Cd, Pb, Ni та Zn у промислових і приміських районах відбувається в основному за рахунок осадження цих елементів з атмосфери.

У складі аерозолів і пилу сполуки хімічних елементів, у тому числі важких металів, осідають на листову поверхню та утримуються у вигляді осаду, причому певна їх частина може бути вимитою разом із дощовими опадами. Різні хімічні елементи відзначаються різною інтенсивністю вимивання. Pb легко змивається з листової поверхні з дощовою водою, тому цей елемент присутній в основному у вигляді осаду пилу. Тоді як слабке змивання Cu, Zn та Cd вказує на значне проникнення цих металів до листової поверхні.

Фоліарне (листове) поглинання складається з 2 фаз: неметаболічне надходження через кутикулу, що розглядається як головний шлях надходження хімічних елементів з атмосфери, та метаболічне перенесення іонів через плазматичні мембрани та протопласт клітин, тобто їх накопичення протилежно до градієнтів концентрації. Іони хімічних елементів проникають у листя шляхом обмінної іонної адсорбції через кутикулу, продихи та клітинні стінки листової поверхні. Крім того, катіони (радіоактивний кальцій, залізо) проникають до листка швидше, ніж аніони (сульфати, фосфати). Більшість аерозольних частинок промислового походження мають діаметр менше 1 мкм, а діаметр продихових отворів 5–30 мкм, що робить можливим проникнення через продихи.

Інтенсивність фоліарного надходження хімічних елементів залежить від анатомічних особливостей листків. В. Godzik зазначає, що значна опушеність і

шорохуватість листової поверхні підвищує інтенсивність міграції важких металів. Видові особливості будови та біохімічного складу кутикули та епідерми листя також диференціює різні рослини за активністю накопичення хімічних елементів. Поглинуті листовою поверхнею солі мікроелементів можуть мігрувати в інші органи рослини, де може відбуватись їх акумуляція. При цьому швидкість транслокації мікроелементів змінюється залежно від хімічної природи самого елемента, органу рослини та її віку. Як зазначає А. Кабата-Пендіас, Cd, Zn та Pb, поглинуті надземною частиною рослини, не можуть швидко мігрувати до коренів, тоді як Cu є дуже рухливим.

В аеральному надходженні забруднюючих речовин велику роль відіграє відстань до джерела забруднення. Дослідники вважають, що частка зовнішнього (аерального) забруднення зменшується при віддаленні від джерела забруднення. Н. Vetter приводить дані, які свідчать, що осідання викидів свинцево-цинкового заводу, що містили Zn, Pb та Cd, на лучні трави закінчувалось на відстані 3 км. Проте А. Кабата-Пендіас зазначає, що підвищені концентрації важких металів у лучних травах були зафіксовані на відстані до 10 км від джерела забруднення. Boehncke (1977) виявив високі концентрації Cd на відстані 12,6 км від індустріального комплексу. Це свідчить про те, що на перенесення та осідання забруднюючих речовин домінуючий вплив чинить не лише відстань від джерела забруднення, але й характер циркуляції повітряних мас приземного шару атмосфери.

Оскільки прямої залежності між концентраціями хімічних елементів у навколишньому середовищі та рослинах, як правило, не існує, точно визначити конкретний внесок кореневого та фоліарного (листового) надходження у збільшення вмісту важких металів у рослинних тканинах неможливо.

Накопичення та розподіл мікроелементів у рослинному організмі

Вчені зазначають, що основним чинником, який визначає концентрацію хімічних елементів у живому організмі, є природа та властивості самого елемента з урахуванням його розчинності та вмісту у компонентах довкілля. Вказуючи на відмінності між значним вмістом Al, Si та Ti у земній корі та їх незначними концентраціями у рослинах, вчений пояснив вибіркиму біодоступність хімічних елементів формою їх знаходження у довкіллі. Адже елементи, які, незважаючи на їх високі кларки концентрації у компонентах природи, входять до складу важкорозчинних сполук, мало засвоюються рослинами, тоді як мікроелементи, що здатні утворювати водорозчинні сполуки, завдяки високій рухливості у біосфері легко концентруються у рослинах. Важливим фактором біодоступності є атомна маса елемента. Так, при збільшенні

атомної маси металу його поглинання рослиною стає більшим і коефіцієнт переходу до рослини буде більшим. Досліди S. Uchida та співавторів показують, що за умови інтенсивного забруднення навколишнього середовища для Cd з більш високою атомною масою коефіцієнт переходу становить 1–10 і можливість надходження з ґрунту до рослин дуже висока, тоді як Ni володіє значно меншою атомною масою, тому коефіцієнт переходу до рослини стає 0,01–0,1 і рухливість іонів дуже низька.

Здатність різних рослин поглинати хімічні елементи досить мінлива. Проте відмічаються певні тенденції. Такі елементи, як Cd, B, Br, Cs, Rb, досить легко поглинаються рослинами, тоді як Ba, Ti, Zr, Sc, Bi, Ga, Se лише слабо доступні рослинам.

Підкреслюючи селективність біологічного захвату, вчені вводять коефіцієнт, який характеризує інтенсивність поглинання на основі співвідношення вмісту елемента в попелі рослин до його вмісту у ґрунті чи гірській породі. Пізніше цей показник було названо коефіцієнтом біологічного поглинання (аккумуляції) – A_x (або K_b), виділивши на основі варіації його значень 4 групи елементів:

- елементи енергійного накопичення ($K_b > 10$, може сягати і більше 100) – P, S, Cl, Br, I;
- елементи сильного накопичення ($K_b = 1–10$) – K, Ca, Mg, Sr, B, Zn, Se;
- елементи слабого накопичення та середнього захвату ($K_b = 1–0,01$) – Mn, F, Ba, N, Cu, Co, Pb, Sn, Mo, As, Ag, Hg, Ra);
- елементи слабого та дуже слабого захвату ($K_b < 0,01$) – Si, Fe, Al, Li, Ti, Cr, Ta, Be, Cd, Nb).

Слід зазначити, що дана класифікація є достовірною лише за умови відсутності антропогенного навантаження. У випадку забруднення навколишнього середовища вміст рухомих форм хімічних елементів у ґрунті може значно зростати, тому інтенсивність міграції іонів до рослинного організму може збільшуватись.

Накопичення хімічних елементів у різних органах рослин залежить від того, яку участь вони відіграють у їх фізіологічних процесах або входять до складу їх органо-мінеральних сполук. Є інша класифікація, за якою хімічні елементи поділяються на 2 групи: базипетальні (вміст елементів зменшується від листя до стебла та коренів) та акропетальні (максимальний вміст елементів у коренях та стеблах, мінімальний – у листі).

Провідна система рослин (ксилема та флоема) забезпечує різні шляхи транспорту метаболітів і води з розчиненими солями. У наукових публікаціях зазначається, що у вегетативні частини рослин іони металів проникають

переважно апоплазматичним шляхом, тоді як у репродуктивні органи – симплазматичним. Тому наявність двох шляхів переміщення елементів визначає різні рівні вмісту важких металів в органах рослинного організму, на основі чого можна виділити пріоритетний ряд їх накопичення у рослині: корені > стебла та листки > насіння > клубні > коренеплоди. Проте, слід зазначити, що вміст важких металів у коренеплодах буде залежати від об'єму провідних судин ксилеми, по якій важкі метали з транспіраційним потоком апоплазматичним шляхом здатні проникати до коренеплодів. Тому часто вміст хімічних елементів у коренеплодах співставляють з їх концентраціями у стеблах і листі.

Надходження важких металів із ґрунту до клубенів буде мінімальним, оскільки клубні не мають провідних пучків ксилеми. Їх забруднення переважно обумовлене дифузією через шкіряний покрив, що контактує із забрудненим ґрунтом. Вивчаючи вміст важких металів у картоплі, J. Bruggemann із співавторами встановили, що забруднення клубенів Pb відбувається завдяки дифузії з ґрунту, тому майже весь Pb затримується у шкірці. Тоді як Zn, Cd та частково Ni потрапляють у клубні симплазматичним шляхом через флоему разом із органічними сполуками, що надходять із листя. Дослідження показали, що томати та картопля, вирощені на забрудненому ґрунті, містять менші концентрації важких металів, ніж коренеплоди – морква та редиска.

Інтенсивність процесу поглинання мікроелементів залежить від фізіологічних особливостей рослин – їх виду, морфологічної будови та стадії розвитку. Також вчені відзначали, що коренева система різних видів рослин має різну ємність поглинання. Так, злаки мають меншу ємність поглинання, ніж бобові культури, а картопля займає проміжне положення. На підтвердження цьому можна навести результати дослідження, де відзначається, що зернові культури (озима та яра пшениця, жито, ячмінь, овес) володіють найменшою металоаккумулятивною здатністю, тоді як бобові культури (горох, люцерна) активно асимілюють Pb, Ni та Cr.

J. R. Miller та ін., а також R. Lacatusu та ін. виявили, що концентрація Pb в салаті вища, ніж у цибулі та моркві, та припустили, що величина накопичення металів залежить від фізіологічних властивостей городньої культури. L. Yu та співавтори встановили, що, як правило, листові овочі (капуста, шпинат і пекінська капуста) накопичують більше Cd, Pb, Cu, Zn та As, порівняно з нелистовими овочами (огірок, гарбуз, баклажан і стручковий перець), що вирости на зрошуваних річковою водою ґрунтах. Інтенсивніше забруднення листових овочів відбувається завдяки більш високому рівню транслокації та транспірації порівняно з іншими видами овочів, у яких процес переходу металів від коріння до стебла, а потім до плодів довший, що зменшує накопичення

важких металів.

Видові відмінності відіграють значну роль і при накопиченні хімічних елементів грибами, які належать до окремого царства живих організмів. Як показують дослідження основним фактором що впливає на ступінь концентрації важких металів, є належність грибів до певної екологічної групи: сапротрофів, симбіотрофів чи ксилофітів, а для грибів-симбіотрофів – ще й глибина локалізації міцелію у ґрунті. Залежно від цього фактору процес акумуляції важких металів у грибах різних видів має певні відмінності. Наші дослідження такі висновки підтверджують.

Крім того, на концентрацію хімічних елементів у грибах може впливати хімічний склад лісової підстилки та ґрунту. Опад листя та хвої вносить до ґрунту цілу гамму рідкісних і розсіяних елементів, поглинутих із глибоких підґрунтових шарів породи коренями дерев. Виходячи з того, що основні характеристики лісових підстилок і ґрунтів дуже мінливі, а у різних видів грибів міцелій може знаходитися на різній глибині та формуватися у різних типах лісорослинних умов, постає необхідність поглибленого вивчення даного питання.

Різну толерантність до поглинання важких металів мають не лише рослини різних сімей та видів, але й різні сорти одного виду. Підтвердженням цьому є роботи U. Wallace S.C. Anderson, які досліджували різні сорти пшениці, а також T. D. Hinesly та ін. (1982), які вивчали різні гібриди кукурудзи. Вміст надлишкових концентрацій важких металів у масі рослин може суттєво варіюватись протягом вегетативного періоду та стадії розвитку. Як показують дослідження Vetter H. та V. Glavac et al., вміст важких металів, а саме Pb та Cd, у рослинах був найменший у літній період, тоді як навесні та восени їх концентрації значно збільшувались. Це може бути пояснено неспівпадінням темпів приросту біомаси із надходженням металів із ґрунту. Визначено також, що молоді частини рослин характеризуються найбільш енергійним поглинанням мінеральних речовин. Як вважає Ф. Аустенфельд, вміст важких металів у плодах мінімальний, тому що репродуктивна фаза настає відносно пізно, тому плоди піддаються впливу надлишкових концентрацій протягом меншого часу, ніж вегетативні органи.

Оскільки для переважної більшості сільськогосподарських культур саме органи запасання асимілянтів входять у харчовий раціон, їх відносна захищеність від надходження надлишку важких металів при певному їх вмісті у ґрунті у деякій мірі гарантує збереження санітарно-гігієнічної чистоти та екологічної безпеки рослинної продукції. Тому у разі потенційного забруднення ґрунту безпечніше вирощувати культури, в яких в їжу людиною використовуються органи запасання асимілянтів.

Механізми забезпечення толерантності рослин до токсичної дії надлишкових концентрацій важких металів у навколишньому середовищі

Здатність органів запасання асимілянтів найменше накопичувати токсичні елементи також можна пояснити тим, що у рослин існує цілий ряд захисних механізмів, що затримують і блокують поглинання та накопичення токсичних концентрацій елементів, забезпечуючи їх детоксикацію та загальну толерантність рослини до стресу.

Існує класифікація захисних механізмів рослин у двох групах:

- обмеження надходження металів у рослини та цитозоль;
- зміни метаболізму клітин, спрямовані на зниження токсичної дії металів та їх виведення із організму рослини.

Аналіз механізмів захисту рослин до важких металів показує стратегію толерантності рослин, яку можна розділити на превентивну (недопущення дії фактора, у даному випадку накопичення важких металів) та детоксикуючу (обмеження його дії). Шкідливі речовини у значній мірі затримуються уже в коренях. Частина полютантів, що проникає у наземні органи, затримується вегетативною масою рослин і слабо проникає у органи запасання асимілянтів і плоди. Це є дуже важливим із точки зору вживання екологічно безпечної рослинної продукції в їжу та попередження негативного впливу на здоров'я населення.

Обмеження надмірного надходження мікроелементів до рослин пояснюється наявністю системи бар'єрно-безбар'єрного накопичення, що забезпечує селективне поглинання іонів.

Дослідники зазначають, що «...коренева система є потужним бар'єром на шляху транспорту важких металів у надземні органи рослин. При цьому, бар'єр апоплазматичного транспорту включає в себе шар клітин протодерми із прилеглими клітинами меристеми та ендодерму, а бар'єр симплазматичного транспорту складають клітини центральної частини апікальної меристеми». Крім кореневого, для рослинного організму виділяють ще два фізіологічні бар'єри зв'язування важких металів: на межі корінь – стебло та стебло – суцвіття. Здатність кореневої системи затримувати надлишкову кількість важких металів обумовлена сукупною дією морфологічних структур і хімічних реакцій неспецифічної природи, до яких відносять поясок Каспарі, обмінна ємність коренів, численні органічні сполуки, які утворюють із важкими металами малорухомі сполуки, вакуольні депо. Ефективним прикладом біохімічних реакцій неспецифічної природи є зв'язування іонів металів органічними кислотами та тіолами в цитоплазмі з наступним виведенням утворених комплексів у вакуолі. Також відомо, що при надлишковому надходженні Cd

рослини починають активно продукувати амінокислоти, які переводять Cd у нетоксичну форму або синтезують спеціальний білок – металіонін, що зв'язує Cd.

Крім того, корені рослин здатні виділяти органічні речовини (зокрема, оцтову та щавлеву кислоту, амінокислоти), які обмежують фітодоступність металів. Так, зв'язування Cd^{2+} слизом, що продукували корені кукурудзи, знижувало його концентрацію в плазмалемі. Ці механізми сприяють механічному затриманню важких металів, їх адсорбції на стінках клітин, зменшенню їх рухомості чи ізоляції. Крім того, як один із захисних механізмів регуляції вмісту мікроелементів у рослинах розглядається виділення певних токсичних елементів при транспірації. Так, разом із транспіраційною вологою в атмосферу виділяються не лише рухомі мігранти – Cl, Na, K, але й важкі метали – Zn, Pb та Hg.

Отже, рослини здатні зберігати життєдіяльність в умовах надлишку токсичних елементів у навколишньому середовищі завдяки таким механізмам толерантності, як вибіркове поглинання іонів хімічних елементів та зміна характеру метаболізму шляхом акумуляції певних іонів у нерозчинних формах у різних органах та органелах; знижена проникність мембран у результаті їх структурних та функціональних змін (поясок Каспарі та ін.); видалення іонів із рослини при транспірації, соковиділенні, скиданні листя та ін.

2.3. Семінар

Використовуючи матеріал лекції та додаткові матеріали, що вивчені під час самостійної роботи необхідно підготуватись до семінару на тему «Доробок світової та української науки для становлення і розвитку трофогеографії. Вплив природних і антропогенних чинників на екологічну якість рослинних продуктів харчування»

Питання до семінару

1. Концептуальні основи трофогеографічних досліджень у контексті екологічної безпеки продуктів харчування рослинного походження

Основний аспект:

Вирішення сучасних проблем безпеки існування людства включає і проблему продовольчо-екологічної безпеки, пріоритетним аспектом якої є екологічна безпека продуктів харчування рослинного походження як основної складової щоденного харчового раціону людини. Рослинна продукція повинна бути екологічно безпечною для людини, що передбачає відсутність токсичної, канцерогенної, мутагенної та іншої негативної дії на організм при споживанні в загальноприйнятій кількості. Екологічна

безпека таких продуктів гарантується встановленням і дотриманням нормативного вмісту (відсутність або обмеження рівнів гранично- допустимих концентрацій) забруднюючих речовин природного або антропогенного походження, а також наявних природних токсичних речовин, які містяться у рослині, що можуть бути небезпечними при харчовому використанні. Останні роки зріс попит населення на високоякісні екологічно безпечні продукти харчування, що стимулює інтерес та необхідність вивчення проблеми продовольчої та екологічної безпеки з точки зору інформації про формування, умови вирощування, транспортування, збереження та реалізацію продуктів харчування рослинного походження.

2. Трофогеографія як новий науковий напрямок на стику різноманітних знань

Основний аспект:

Розширення предметної області вивчення геопростору потребує залучення наукових і методологічних доробок інших суміжних наук. Найбільш тісно дослідження у сфері трофогеографії переплітаються з геохімією ландшафту, біогеохімією, біоекологією, а також із науками та дисциплінами, що займаються дослідженням якості продуктів харчування. Це дає початок процесу міждисциплінарної інтеграції – так званих досліджень на межі наук. Визначаючи місце трофогеографії у системі різноманітних наукових знань, її слід віднести до конструктивної географії, адже в центрі уваги досліджень знаходиться система «природа – населення – виробництво» у різних регіонах та на різних ієрархічних рівнях геосистем. Якість рослинної продукції є прямим наслідком впливу природних і соціально-економічних (антропогенних) факторів. Тому вирішення трофогеографічних завдань потребує глибокої взаємодії географії з багатьма іншими науками, зокрема, з біологічними науками – у виявленні природи рослин і певних бар'єрів захисних механізмів рослин; технічними науками – у розробці заходів щодо зменшення надходження забруднюючих речовин у компоненти навколишнього середовища; медичними науками – у вивченні механізму впливу екологічно небезпечної продукції харчування рослинного походження на здоров'я людини та виявленню географічних аспектів поширення захворювань населення, пов'язаних із вживанням забрудненої харчової продукції.

3. Історія становлення трофогеографічних знань

Основний аспект:

Інформація про вчених та їх досягнення у галузі базових наук для розвитку та становлення трофогеографії: основні дати активної наукової діяльності,

напрямки наукових досліджень, наукові досягнення, відомі публікації вчених (Набоких О.Г., Соколовський О.Н., Гринченко О.М., Медведєв В.В., Холодний М.Г., Гродзинський М.Д., Денисик Г.І., Шищенко П. Г. Адаменко О. М., Балюк С. А., Фатєєв А. І., Рудько Г. І., Малишева Л. Л. і інш. вчені сучасності)

4. Світовий досвід дослідження якості рослинної харчової продукції

Основний аспект:

Українські вчені (Параняк Р. П. зі співавторами) у своїх статтях наводять широкий огляд сучасних наукових праць зарубіжних дослідників, присвячених виявленню шляхів надходження важких металів у навколишнє середовище та їх впливу на природні компоненти, зокрема рослинні організми. Також акцентується увага на тому, що у світі проведена значна кількість досліджень із вивчення механізмів переходу Pb і Cd із ґрунту до рослини. Важливими є опубліковані у монографіях результати наукових досліджень видатної польської професорки А. Кабати-Пендіас - авторка зробила значний внесок у дослідження процесів транслокації хімічних елементів із ґрунту до рослини, а також простежила характер їх накопичення у різних органах рослин. Багато праць закордонних вчених присвячено вивченню вмісту важких металів в овочах, що продаються в торгівельних центрах, продуктових супермаркетах та на продуктових ринках.

5. Природні фактори формування мікроелементного складу

Основний аспект:

Особливості формування якості рослинної продукції, вирощеної у межах різних природних геосистем. Важливими при цьому є показники фонових вмісту мікроелементів у рослинній продукції та ґрунтах. Регіональна специфіка формування мікроелементного складу рослинної продукції та ґрунтів у межах України досліджується вченими вже багато років. Визначення географічних особливостей формування хімічного складу рослинної продукції виявляється з урахуванням різних природних факторів, що мають вплив на процеси формування вмісту хімічних елементів у рослинах, а саме: різних геоморфологічних, кліматогідрологічних, ґрунтових та ін. умов. Хімічний склад рослин значною мірою залежить від типу ґрунту з притаманними йому специфічними характеристиками, а формування певного типу ґрунту є результатом комплексного впливу фізико-географічних факторів, тому тісно пов'язано із географічною зональністю. Рослини відображають у своєму складі вміст тих чи інших хімічних елементів у ґрунті, але поглинають їх у різних

кількостях, у різних співвідношеннях та з різною швидкістю. Як відомо, процеси формування хімічного складу рослинної продукції визначаються цілим комплексом взаємопов'язаних природних та антропогенних факторів, які проявляються у певних закономірностях поглинання, міграції, транслокації та акумуляції хімічних елементів у рослинних організмах.

6. Соціально – економічні (антропогенні) фактори формування мікроелементного складу рослинної продукції

Основний аспект:

Антропогенна діяльність є потужним фактором впливу на процеси накопичення та перерозподілу мікроелементів у компонентах ландшафту, у т.ч. рослинних організмах. У результаті складної взаємодії природних та антропогенних компонентів формуються специфічні ландшафтно-антропогенні комплекси різного таксономічного рангу – урболандшафти, агроландшафти, дорожні ландшафти та інші, при цьому, сільськогосподарські ландшафти (агроландшафти) є найбільш розповсюдженими серед антропогенних комплексів, бо використовуються тисячоліття. Сьогодні важливу роль у антропогенному надходженні забруднювачів у компоненти агроландшафтів у т.ч. рослини, відіграють агротехнічні заходи: внесення добрив, застосування засобів захисту рослин і зрошення. Включаючись у природні цикли міграції, антропогенні потоки забруднювачів призводять до швидкого розповсюдження цих речовин у природних складових урбо- та агроландшафтів, що призводить до розширення техногенних ореолів забруднення. Таким чином, в результаті техногенезу не лише змінюються природні концентрації хімічних елементів, але й з'являються невластиві для природи сполуки, відбувається вплив на кислотно-лужні умови середовища. Звідти з'являються певні особливості формування якості рослинної продукції, вирощеної у межах урбогеосистем, в умовах придорожних антропогенних геосистем тощо. Техногенне привнесення, наприклад, важких металів у біосферу пов'язане з різноманітними джерелами: підприємствами кольорової та чорної металургії, металопереробною, гірничовидобувною, хімічною промисловістю, теплоелектростанціями, спалюванням різноманітних відходів, автотранспортом. Тому виділення регіонів із екологічно сприятливими чи несприятливими умовами для вирощування рослинної продукції на присадибних ділянках та у фермерських господарствах і пошук шляхів зниження впливу техногенного забруднення на екологічну безпеку ґрунтів та продуктів харчування сьогодні є актуальними та соціально значимим.

2.4. Практична складова

Тема: **Важкі метали у системі «грунт – рослина - продукти харчування**

1. Визначити поняття «важкі метали» (ВМ), мікроелементи та їх перелік.

2. Створити презентацію за темою «Особливості важких металів та їх розповсюдження у природі».

Структура презентації :

- ✓ Місце положення металу у періодичній системі хімічних елементів.
- ✓ Хімічні та біохімічні властивості ВМ.
- ✓ Наявність у природі.
- ✓ Наявність і функції мікроелементу у продуктах харчування різного походження.
- ✓ Особливості використання мікроелементів організмом людини.
- ✓ Нормативні показники концентрації металу для організму людини (дефіцит або надлишок).
- ✓ Прояви токсичного ефекту на здоров'я людини надлишкових концентрацій деяких мікроелементів.
- ✓ Список використаних джерел.

3. Створити таблицю:

«Прояви дисбалансу мікроелементів у рослинному організмі»

(6 важких металів за вибором)

Хімічний елемент	Токсичні прояви у рослинні надлишкового вмісту мікроелементу	Прояви дефіциту мікроелементу
1.		
....		
6.		

2.5. Рекомендована література

1. Некос А. Н., Холін Ю.В. Трофогеографія : теорія і практика: монографія. Х: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2015. 296 с. About tree rings. Available at: <https://lrr.arizona.edu/about/treerings>
2. Фоновий вміст мікроелементів у ґрунтах України / за ред. д. с.-г. н. А. І. Фатєєва і к. с. –г. н. Я. В. Пащенко. Х. : ННЦ ІГА, 2003. 120 с.
3. Некос А. Н. Порівняльний аналіз якості ґрунтів та рослинної продукції природних зон та регіонів України. *Людина і довкілля. Проблеми неоекології*. Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2011. № 3-4. С. 105–110
4. Некос А. Н., Баскакова Л. В., Тітенко Г. В. Регіональні особливості накопичення важких металів у картоплі. *Збірник наукових праць VII Всеукр. Наук. Таліївських читань*. Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2011. С. 95–100.

5. Некос А. Н., Висоцька О. В., Порван А. П., Семибратова П. В. Трофогеографія: сучасні дослідження та перспективи розвитку (результати дисперсійного аналізу впливу природних факторів на хімічний склад рослинної продукції). *Науковий вісник Чернівецького університету. Збірник наукових праць. Сер. Географія*. 2012. Вип. № 614-615. С. 90-92.
6. Некос А. Н., Висоцька О. В., Порван А. П. Патент на корисну модель № 76203. Спосіб прогнозування підвищених концентрацій важких металів у рослинних продуктах харчування. Заявник та патентовласник Харківський національний ун-т радіоелектроніки. № U2012 07360 ; заявл. 18.06.2012; опубл. 25.12.2012, Бюл. № 24. 15 с
7. Некос А. Н., Семибратова П. В. Екологічна якість овочевої продукції, вирощеної в умовах урбосистем. *Збірник наукових праць VIII Всеукраїнських наукових Талійських читань*. Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2012. С. 138-144
8. Некос А. Н., Медведєва Ю. В. Оцінка канцерогенного ризику від споживання рослинної продукції, вирощеної у межах урбогеосистем. *Молодий вчений*. 2018, Вип. 5 (2). С. 365-368.
9. Некос А. Н., Шуліка Б. О., Мальчук О. В. Екологічна безпека та якість рослинних продуктів харчування (на прикладі винограду). *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія Екологія*, 2020. №22. С.32-42.
https://journals.urau.ua/visnukkhnu_ecology/article/view/218617
10. Тітенко Г.В., Некос А. Н., Крайнюков О.М. Агрофітоценози: практичний посібник. Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2020. 56 с.
15. Білецька Я., Некос А., Бехтер А., Кривцова А., Брайнінгер О. Шляхи оптимізації забруднених свинцем чорноземних ґрунтів у системі ґрунту – рослина. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*, 2021, (55). С. 257-273. [https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-19\(WoS\)](https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-19(WoS))
11. Некос А. Н., Шуліка Б. О. Інновації у галузі виноградарства як основа для розвитку винного туризму. *Інноваційні напрямки розвитку міжнародної електронної комерції та готельно-ресторанної справи : колективна монографія / за заг. ред. Н. І. Данько, В. О. Бабенко*. Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, (2021) 364с. <https://karazinbook.com/knyga/innovaciyni-napryamki-rozvitku-mizhnarodnoyi-elektronnoyi-komerciyi-ta-gotelno-restorannoyi>
12. Некос А. Н., Головка М. П., Головка Т. М., Васюха О. Проблеми продовольчої кризи та екобезпеки у системі «Farm to Fork»: колект. моногр. «Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій – 2022». Полтава – Львів. Дніпро: «Середняк Т.К.», 2022. С.87-98 DOI: <https://doi.org/10.23939/monograph2022>
<https://nupp.edu.ua/page/opis-kolektivnoi-monografii.html>
13. Крайнюков О.М., Некос А. Н., Білецька Я.О. Екологічна безпека продуктів харчування : навчальний посібник. Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2023. 120 с.

РОЗДІЛ 3. ПРОСТОРОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИРОДНИХ ТА АНТРОПОГЕННИХ ПРОЦЕСІВ.

3.1. Загальні положення

Моделювання природних і антропогенних процесів. Просторове моделювання. Геоінформаційні системи.

Поняття про поверхню. Рельєф. Цифрове моделювання рельєфу. GRID-модель. TIN-модель. Методи створення ЦМР. Проведення геоінформаційного аналізу рельєфу. Приклади застосування геоінформаційного аналізу рельєфу в екологічних дослідженнях.

3.2. Теоретична складова

Вивчення теорії з розділу структуроване за темами, у яких слід звернути увагу на основну інформацію, наведену нижче.

Тема моделювання природних і антропогенних процесів є дуже важливою та широкою. Розуміння того, як функціонують природні системи та який вплив на них має людська діяльність, неможливо уявити без використання сучасних методів просторового аналізу та цифрового моделювання. Саме ці технології дають змогу детально досліджувати зміни, що відбуваються у ландшафтів в результаті їх взаємодії з людиною, прогнозувати розвиток подій, планувати раціональне природокористування й оцінювати екологічні ризики.

Сам термін «моделювання» можна визначити, як метод наукового пізнання, який полягає у заміні реального об'єкта або явища спеціально створеним аналогом — *моделлю*, що відтворює важливі властивості та зв'язки досліджуваного об'єкта. Моделювання є особливим пізнавальним процесом, який може мати різну форму — від ментальних уявлень до складних комп'ютерних симуляцій. Цей процес є дуже широким і охоплює різноманітні види діяльності, які пов'язані зі створенням, вивченням і використанням моделей.

У даному розділі розглядатиметься *просторове моделювання*, тобто створення моделей, що враховують розташування та взаємозв'язки об'єктів або явищ у просторі. Це дозволяє аналізувати, описувати й прогнозувати розвиток природних, соціальних чи техногенних систем з урахуванням їхнього географічного положення та просторової залежності між компонентами.

Просторове моделювання

Технічною основою просторового моделювання є геоінформаційні системи (ГІС), які забезпечують зв'язок атрибутивних (описових) даних через просторово-координатну прив'язку, що дозволяє поєднувати різні типи інформації для створення цілісної моделі реального світу.

Ефективність ГІС у просторовому моделюванні зумовлена кількома ключовими перевагами, які дозволяють глибоко аналізувати та розуміти складні геопросторові явища.

По-перше, ГІС забезпечують інтеграцію різномірних джерел інформації, об'єднуючи дані з різних галузей і підрозділів в єдину систему, що значно підвищує якість і повноту просторового аналізу.

По-друге, ГІС надають потужні та інтуїтивно зрозумілі засоби для візуального відображення просторових даних, причому не лише у двомірному варіанті. Це спрощує розуміння і інтерпретацію складних геопросторових явищ. Візуалізація даних допомагає користувачам швидко будувати просторові запити, аналізувати зв'язки та закономірності, а також створювати тематичні карти, шари яких можна комбінувати для отримання нових знань.

По-третє, одним з найважливіших аспектів є автоматизація просторового аналізу та моделювання в ГІС. Ця функція значно прискорює та підвищує ефективність процесу прийняття обґрунтованих рішень у різних сферах — від екологічного моніторингу до планування територій і управління ресурсами.

Основним результатом просторового моделювання є побудова *поверхонь* (surface). Поверхня — це узагальнене поняття, що описує безперервне представлення тривимірного простору, де кожній точці (x, y) присвоюється певне значення (z). Прикладами поверхонь може бути цифрова модель рельєфу (ЦМР), яка представляє висоту земної поверхні, як реального географічного об'єкту або ж поверхня розподілу температури повітря, концентрації забруднюючих речовин, рівня ґрунтових вод, щільності населення тощо. У цьому випадку значення 'z' не є висотою, а представляє інтенсивність або величину певного параметра.

Моделі поверхонь у ГІС як правило створюються за допомогою двох основних моделей даних — растрової або векторної.

Растрова модель створюється в результаті розділення простору на регулярні комірки, кожна з яких містить значення поля для цієї області. Це ідеально підходить для скалярних полів, таких як цифрова модель рельєфу (ЦМР) або карти температур.

Векторна модель поверхні створюється за допомогою ліній, що з'єднують точки з однаковим значенням поля (наприклад, ізогіпси — лінії однакової висоти,

ізотерми – лінії однакової температури), або ж триангуляційних майданчиків (TIN-модель).

Поняття про рельєф

Згідно з класичним визначенням, рельєф – це сукупність нерівностей земної поверхні. Тобто рельєф – це лише форма. Однак саме в цьому випадку можна сказати, що для людини ця форма дуже часто стає важливішою за зміст. Уявіть собі дві кулі, металеву та пластмасову. Що в них загального? Вірно, здатність до легкого переміщення у просторі саме через свою форму. Штовхнув – покотилося.

Рельєф також може надавати певні здібності природним та антропогенним об'єктам лише за рахунок їх територіального розміщення. Наприклад, для нашої півкулі північні схили пагорбів або стіни будівель завжди будуть отримувати сонячного тепла більше за інші. Відповідно, на південних схилах будуть утворюватися специфічні біоценози, формуватись відмінні від оточуючих ґрунти. При цьому літологічна будова пагорбу за ландшафтоутворюючим впливом відступатиме на другий план.

Без впливу рельєфу не відбувається жодний природний або антропогенний процес. Течія води в річці, напрямок вітру, планування забудови міста, перемикання передачі у автівці при підйомі вгору... Ми маємо миритися з рельєфом, вживатися в нього, використовувати його особливості для наших потреб.

Проте щоб щось використовувати, треба про це «щось» знати якомога більше. При цьому ефективність використання буде прямо пропорційна до наших знань.

Звідки ми отримуємо інформацію про рельєф? Джерел і способів зараз існує дуже багато. Найбільш буденним є варіант використання фізико-географічних або ж топографічних карт (рис. 3.1). Зокрема на останніх нерівності земної поверхні репрезентовані горизонталями, інакше – ізогіпсами, тобто кривими, кожна точка яких має однакову висоту над рівнем моря.

Багаторічний досвід роботи з такою формою представлення рельєфу сформував потужну методичну базу, яка дозволяє проводити різноманітні морфометричні обрахунки, від найпростіших (вимір крутизни схилу) до складних (складання карт густоти горизонтального розчленування). Зрозуміло, що в наш час високих технологій, традиційне представлення рельєфу поступово замінюється іншими, більш практичними варіантами.

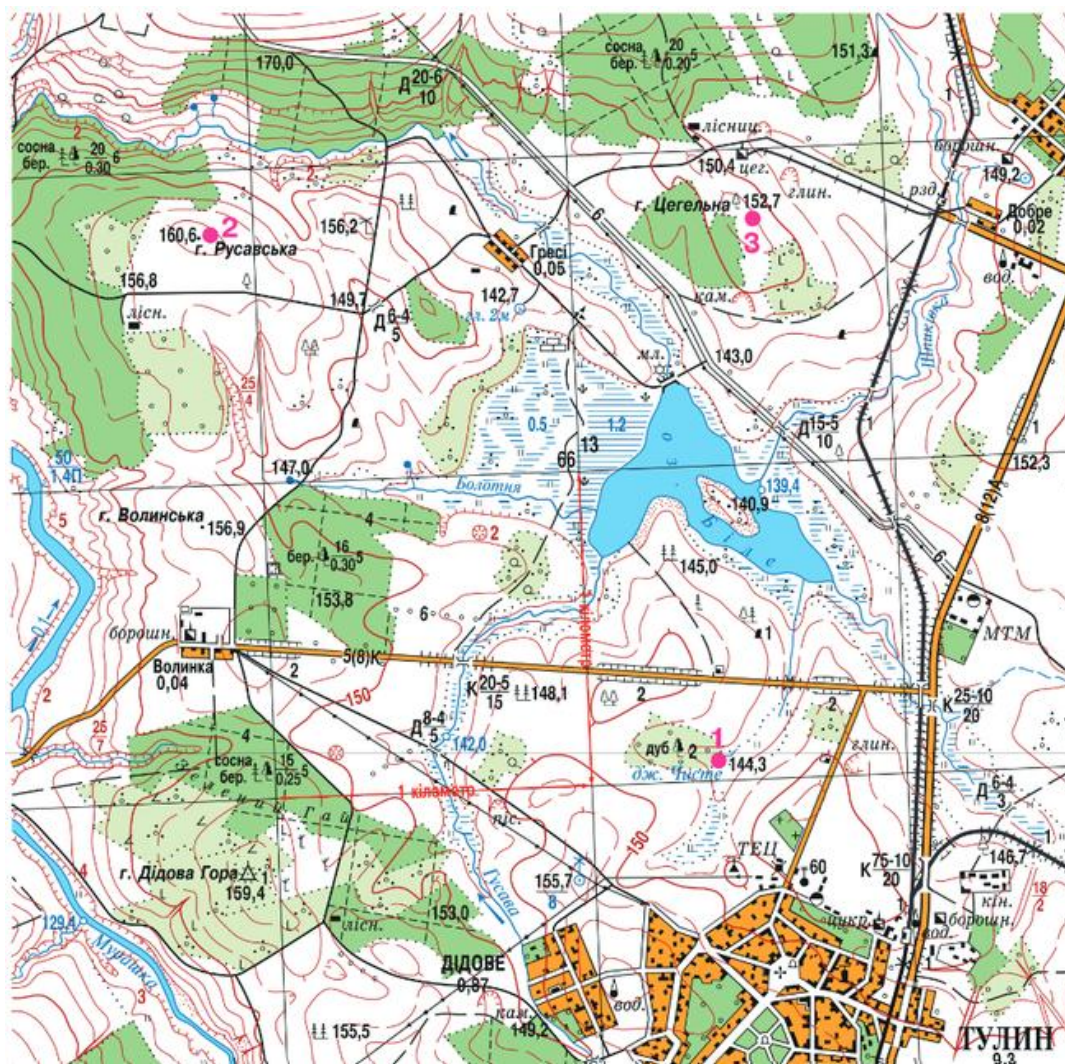


Рис. 3.1. Традиційний спосіб представлення рельєфу знайомий нам ще зі шкільних підручників

Цифрові моделі рельєфу

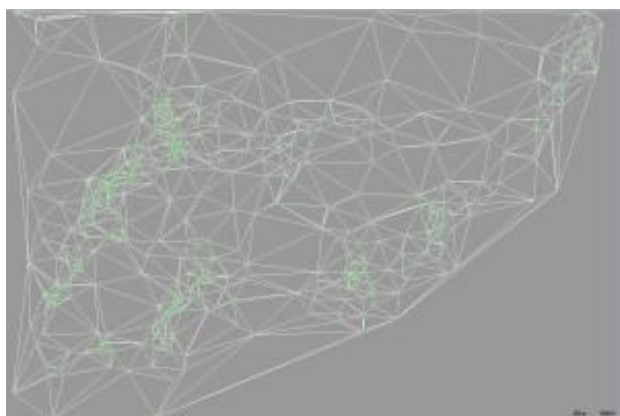
Згідно з Комплексом стандартів Баз даних топографічних даних, під цифровою моделлю рельєфу розуміють “цифрове подання тривимірних просторових об’єктів (поверхонь, рельєфів) у вигляді тривимірних моделей даних сукупності висотних відміток або відміток глибин та інших значень аплікату в вузлах нерегулярної мережі трикутників або у вузлах регулярної сітки з утворенням матриці висот або як сукупність записів даних про горизонталі (ізогипси, ізобати) або інші ізолінії”.

Говорячи спрощено, ЦМР є комп’ютерною моделлю, яка містить детальну інформацію про значення абсолютної висоти земної поверхні. У англійській літературі розрізняють цифрову модель висот (*digital elevation model, DEM*) і похідну від неї цифрову модель рельєфу (*digital terrain model, DTM*) як сукупність похідних морфометричних показників.

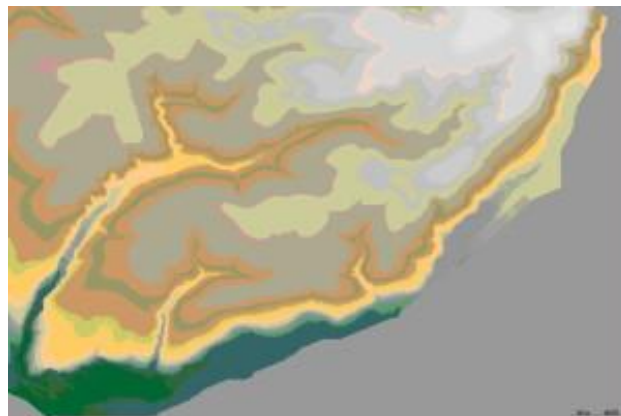
Первинні дані цифрового моделювання рельєфу можуть бути наочно представлені у вигляді двох найбільш поширених способів представлень поверхонь: регулярної мережі висот або ж нерегулярної триангуляційної мережі. Перший спосіб представлення часто називають GRID-моделлю. Другий отримав скорочення TIN (triangulated irregular network – нерегулярна триангуляційна мережа).

GRID-модель має растрову структуру, що утворюється шляхом розбиття простору на однакові неподільні чарунки або ж пікселі (від англійського *picture element*). Останні зазвичай мають квадратну форму та містять інформацію про висоту земної поверхні над рівнем моря. Як правило саме GRID є основою глобальних та національних моделей висот. Зокрема Геологічна служба США (USGS), в рамках проекту Національна карта ([The National Map](#)) пропонує [п'ять наборів даних](#) про рельєф у вигляді растрової структури, які відрізняються за технологіями отримання, роздільною здатністю та просторовим охопленням. Також саме GRID-модель лежить у основі вільних глобальних ЦМР – таких як [GMTED2010](#) та [ASTER GDEM2](#).

Структура TIN вичерпно описується самою назвою моделі – нерегулярна триангуляційна мережа. Її основою є набір нерегулярно розташованих точок, які з'єднуються лініями таким чином, щоб утворились трикутники. Результатом є багатогранна модель рельєфу місцевості, яка складається з численних трикутників з висотними відмітками висоти у вершинах.



TIN



GRID

Рис. 3.2. Два способи представлення рельєфу в ЦМР

Кожна з моделей має свої переваги та недоліки. TIN займає в декілька разів менше місця в пам'яті комп'ютера ніж GRID, що обумовлюється її векторною структурою, але потребує більші затрати машинного часу на обробку моделі.

Вважають, що TIN краще підходить для відображення рельєфу гірських районів, тоді як GRID більше підходить для презентації рівнинних територій.

Для GRID моделі візуальний аналіз поверхні, яка утворюється в результаті поєднання чарунок зі значеннями висот, нескладний. Здається, навіть старшокласник зможе розібратись з цим зображенням, та виявити на ньому хоча б пагорби та яри. Ще простішим буде аналіз за умов тривимірної візуалізації цієї поверхні (рис. 3.3), тут вже помилок не буде ні в кого.

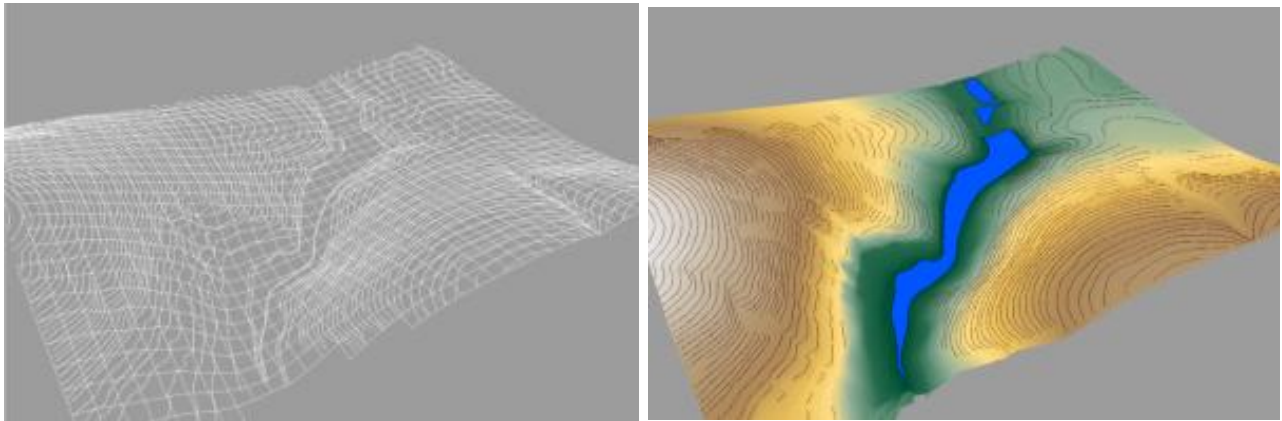


Рис. 3.3. Тривимірна візуалізація цифрової моделі рельєфу (GRID модель)

Фундаментальними та широко застосовуваними геоморфологічними параметрами є ухил та експозиція нахиленої поверхні, тобто, схилу. Ухил є показником крутизни схилу та розраховується як перевищення місцевості (а) до горизонтального прокладання (b), на якому воно спостерігається (рис.3.4). Величина ухилу дорівнює тангенсу кута α . Говорячи ще більш математично, ухил є першою похідною від висоти, оскільки характеризує інтенсивність зміни її значень в просторі.

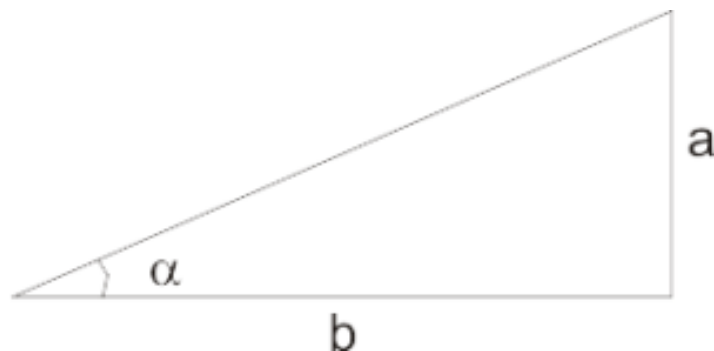


Рис. 3.4. Ухил схилу

Перетворити растрову модель висот на карту ухилів (GRID), або ж визначити крутизну ребер-трикутників (TIN) здатна практично будь-яка ГІС.

При використанні растрової моделі для визначення крутизни схилу зазвичай використовують відомий алгоритм, що найчастіше пов'язують з роботою Zevenbergen-Thorne (1987).

Розглянемо його основні етапи на прикладі субматриці висот 3 на 3 пікселя (рис.3.5). Всі розрахунки будемо проводити для визначення крутизни центральної чарунки, яка виділена блакитним кольором. Цифри в чарунках позначають висоту (z), L – відстань між центрами чарунок, інакше – просторова роздільна здатність растру. Жовтим кольором виділені пікселі, значення яких будуть враховані при розрахунках ухилу.

Спочатку обчислюються градієнти зміни висот вздовж двох головних осей x і y :

$$dz/dx = [62 - 61] / 2 * L$$

$$dz/dy = [65 - 59] / 2 * L$$

Далі для центральної чарунки субматриці обраховується «інтегральний» ухил ($slope$):

$$slope = arctg (\sqrt{[dz/dx]^2 + [dz/dy]^2})$$

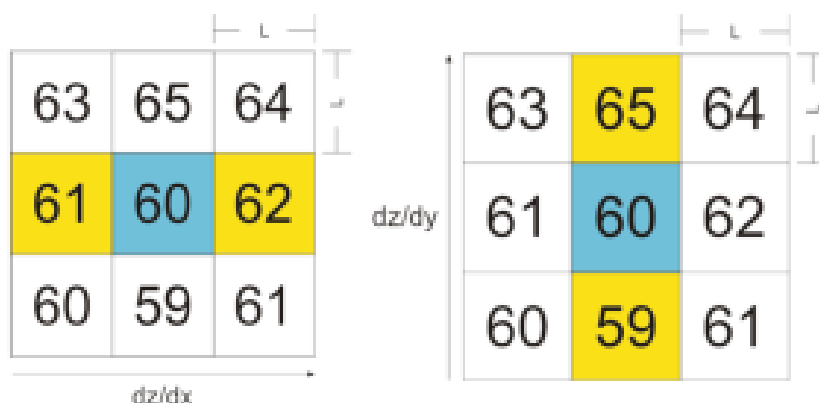


Рис. 3.5. Приклад розрахунку ухилу

Після цього залишається запустити даний алгоритм по всьому растру. Результатом буде перерахунок значень висот в кожному пікселі растрової ЦМР на значення ухилів та формування картограми крутизни поверхні (рис.3.6).



Рис. 3.6. Картограма крутизни схилів

Використання геоінформаційного аналізу рельєфу в екологічних дослідженнях

Простим та ефективним заходом боротьби з водною ерозією ґрунтів є правильне використання території залежно від рельєфу, який виступає потужним регулятором водних потоків, що руйнують ґрунт. Зокрема, залежно від крутизни схилів, рекомендується диференційоване просторове розміщення сільськогосподарських культур. Для цього всі землі розділяють на так звані *еколого-технологічні групи* (ЕТГ), кожна з яких має особливий режим використання залежно від ухилу поверхні. Наприклад, на землях з крутизною більше 7 градусів найкраще висівати багаторічні трави, які забезпечують надійний захист ґрунту від ерозії, або ж взагалі виводити такі землі з обробітку.

Виділення таких груп традиційно виконується на основі топографічних карт із застосуванням кругових палеток. Не будемо детально описувати методику, яка має вже більш ніж п'ятидесятирічну історію, відмітимо лише велику трудомісткість та низьку точність цієї процедури. Безумовною альтернативою для неї, звісно, є використання цифрових моделей рельєфу.

Для прискорення виділення потрібних нам еколого-технологічних груп необхідно застосувати готовий або написати новий невеличкий скрипт (тобто мініпрограму, яка дозволяє автоматизувати певну задачу, у нашому випадку – виділити всі пікселі одержаної картограми відповідно до заданої нами

інтервальної шкали).

Наведемо фрагмент скрипту, який написаний мовою SML (Spatial Manipulating Language), що використовується в ГІС TNTmips, для виділення двох зон: із ухилом менше 3 градусів і від 3 до 5 градусів:

```
if (slope<=3)
return (1)
if ((slope<=5) and (slope>3))
return (2)
```

На нашу думку, цей фрагмент не потребує спеціальних коментарів, все й так інтуїтивно зрозуміло. Результат виконання подібної програми представлений на рисунку 3.7. На ньому виділено чотири еколого-технологічні групи земель із градусною градацією: 0-3, 3-5, 5-7 та більше 7.



Рис. 3.7. Схема сільськогосподарського зонування території

Виділені піксельні зони можна автоматично трансформувати у векторні об'єкти, що дозволить узручнити подальшу роботу із землевпорядного протиерозійного впорядкування території.

За наявності певного досвіду та необхідного програмного забезпечення, запропонований підхід значно швидший та більш точний ніж використання типових картометричних процедур з паперовими, або ж, як зараз прийнято говорити, аналоговими картами.

Вирішивши перейти від паперу до цифри, ви вирішуєте не лише одну вказану задачу. ЦМР стане надійною просторовою матрицею вашої території, основою для її використання та розвитку.

Інший спосіб прикладного використання ЦМР – **побудова карт експозицій**, тобто моделей, які відбиватимуть орієнтацію схилів за сторонами світу. Головною географічною функцією експозиції схилів є перерозподіл сонячної енергії, що надходить до ландшафту, та вплив на умови зволоження. Отже, математична формалізація параметрів ухилу та експозиції схилу дозволяють кількісно оцінювати гідротермічні умови території, що є дуже важливим для багатьох сфер людської діяльності та, зрозуміло, і для сільського господарства.

Як правило, експозицію (*aspect*) відлічують від півночі за годинниковою стрілкою згідно із загальною формулою:

$$aspect = \arctg (-[dz/dy] / [dz/dx])$$

Позначення ті самі, що й для формули [обрахунку ухилу](#): dz/dy – показує зміну висот у напрямку з півночі на південь, dz/dx – із заходу на схід.

Відмітимо певну хитрість: зазвичай програма запропонує вам розрахувати значення пікселів в азимутальній градусній шкалі, яка містить 360 градусів (рис. 3.8). Це є логічним з точки зору геодезиста, але ж мало що дасть агроному. Адже “холодні” північно-орієнтовані схили можуть отримати кількісну характеристику і 1, і 359 градусів.

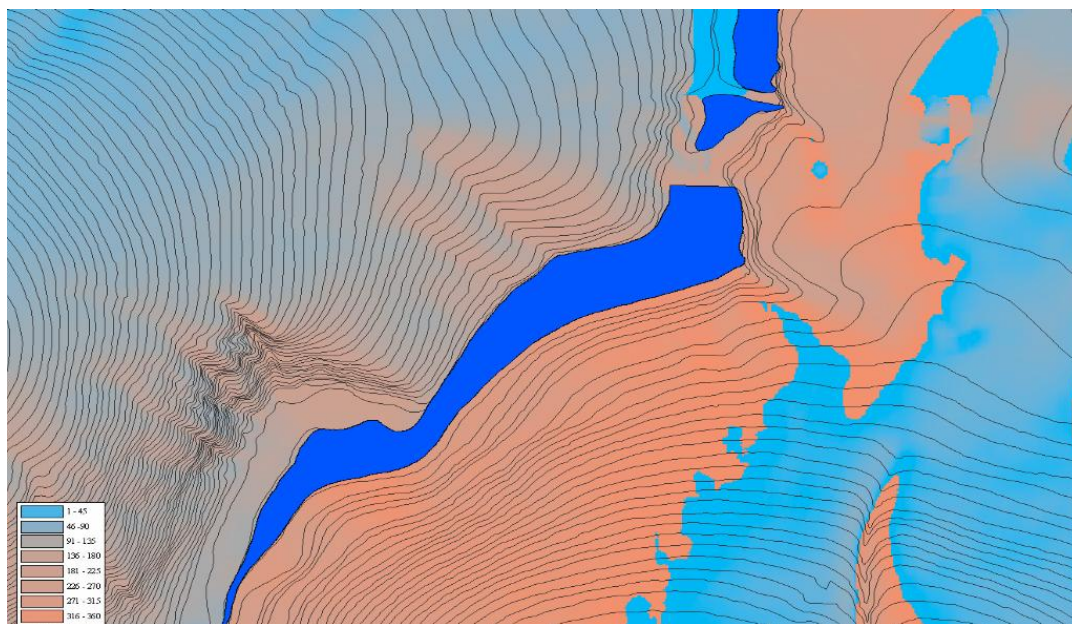


Рис. 3.8. Картограма експозицій схилів

Виправити ситуацію можна, перебудувавши одержану модель за наступною формулою:

$$ВПЕ = 180^\circ - |180^\circ - E|,$$

де $ВПЕ$ – показник експозиції відносно півночі, градуси, E – експозиція схилу, градуси.

Результатом буде картограма, що оцінює орієнтацію схилу відносно півночі та надає змогу приблизно оцінити інсоляційні відмінності для даної території (рис.3.9). Переваги цієї карти перед попередньою (побудованою за абсолютними значеннями експозиції) добре помітні у південно-східній частині наведеної ділянки території. Територія, яка на рис. 3.8 представлена двома контрастними за значеннями азимута частинами, насправді має єдину північну експозицію, що добре видно на рисунку 3.9.

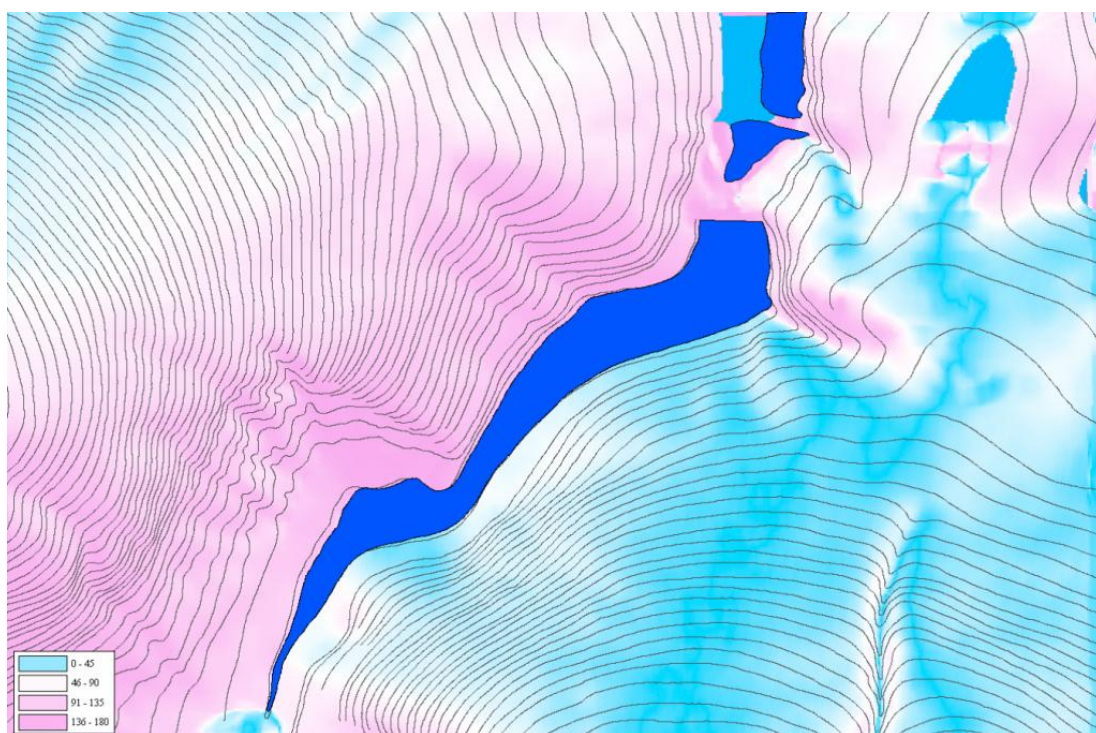


Рис. 3.9. Картограма значень параметру експозиції

Однак, дійсно точні розрахунки для оцінки просторової неоднорідності гідротермічних умов території за ЦМР можливі лише з використанням складних фізичних моделей інсоляції. Тобто моделей, які дозволяють оцінювати інсоляційний режим території з урахування як прямої, так і розсіяної сонячної радіації. Наприклад, у славнозвісній ArcGIS за це відповідає група інструментів «Сонячне випромінювання», яка дозволяє обчислювати інсоляцію як для певного місця, так і для всього ландшафту. Серед вільних ГІС аналогічні можливості мають SAGA і GRASS.

Отже, ми з'ясували, що існує можливість кількісно оцінити надходження сонячної енергії до земної поверхні згідно з рельєфом. А це надає ключ до управління гідротермічним режимом та раціонального використання похилих

земель. Так, карти, які ми одержуємо, дозволяють обчислювати потенціал фотосинтетичної активної радіації (ФАР) – частини сонячної енергії, яка використовується рослинами для фотосинтезу, що у свою чергу надає підстави для планування врожаїв. Врахування інсоляції в умовах складного гірського рельєфу дозволяє оптимізувати розміщення сільськогосподарських культур. Інформація про гідротермічні умови території може використовуватись для оцінки агроґрунтового потенціалу ділянки та, відповідно, впливати на її грошову оцінку.

Рельєф є потужним регулятором поверхневого стоку, тобто тієї частини атмосферних опадів, які під дією сили тяжіння стікають по земній поверхні. Для сільського господарства України, з огляду на її фізико-географічні особливості, питання оцінки та врегулювання поверхневого стоку є справою якщо й не життя та смерті, то принаймні питанням на 10 млрд у.о. Саме таку суму, згідно з оцінкою експертів, ми втрачаємо щорічно унаслідок процесів водної ерозії. Є і другий фінансово неоцінений аспект — врегулювання поверхневого стоку та затримка вологи на полях дозволить значно підвищити врожаї. Адже саме нестача вологи є одним з основних лімітуючих факторів нашого агровиробництва.

З'ясуємо декілька термінів, які є дуже важливими під час структурного аналізу рельєфу.

Гідрографічна мережа — це мережа знижень, за якими здійснюється поверхневий стік. На топографічній карті або космічному знімку ця мережа має вигляд розгалуженого дерева або ж, говорячи науковою мовою, дендровидну структуру (рис. 3.10).

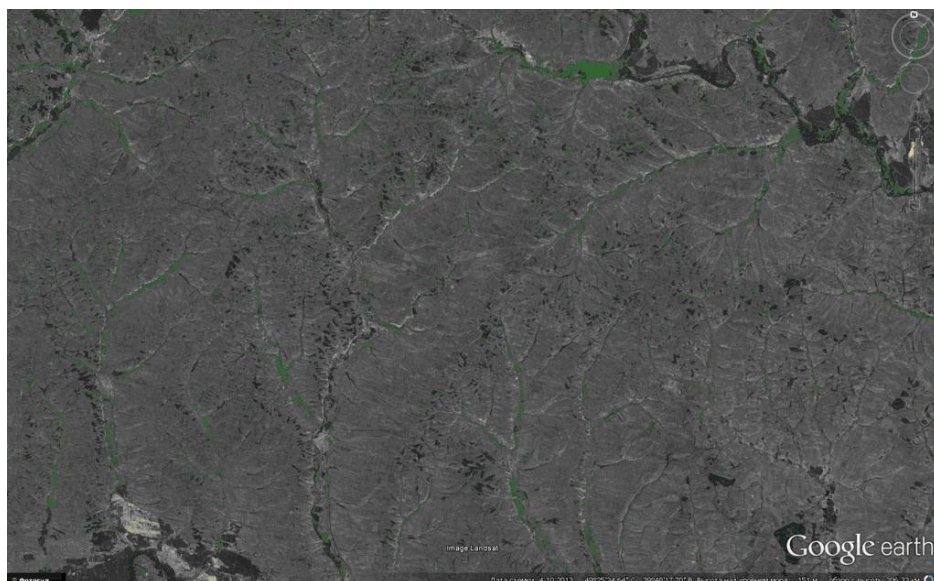


Рис. 3.10. «Дерева» гідрографічної мережи на космічному знімку (джерело знімку: [Google Earth/Landsat](#))

Цікаво, що серед усіх планет Сонячної системи такий упорядкований деревоподібний рисунок властивий лише для Землі та Марса (рис. 3.11). До речі, свого часу фотографічна фіксація цього факту викликала низку гіпотез щодо подібності земних та марсіанських умов рельєфоутворення і стала одним з основних доказів того, що на червоній планеті може існувати вода, а відповідно й життя.



Рис. 3.11. Яри на Марсі (фото: [NASA](#))

Верхня частина гідрографічної мережі, яка позбавлена постійних водотоків, називається суходільною. До елементів суходільної мережі відносять улоговини, лощини й балки.

Улоговина стоку — горішня ланка гідрографічної мережі, яка характеризується невеликою глибиною (0,5–2 м) та пологими схилами (до 3°) (рис.3.12). Часто її навіть важко помітити на місцевості та виділити на карті.



Рис. 3.12. Улоговина

Улоговина поступово переходить у *лощину*, яка вже чітко виділяється в рельєфі й має виражені схили та дно. Лощина може мати глибину до 5–8 м, а крутизна її схилів може сягати 10° (рис.3.13).



Рис. 3.13. Лощина

У свою чергу лощина переходить у *балку*, лінійну форму рельєфу з чітко вираженими бровками — лініями перегину схилу, нижче яких він стає більш крутим (рис.3.14). Балка характеризується значною глибиною до 20 м і крутизною схилів до $30\text{--}40^{\circ}$.



Рис. 3.14. Балка

Найнижчими точкам днищ усіх перелічених елементів гідрографічної мережі проходить умовна лінія, яку називають *тальвегом* (рис. 3.16).



Рис. 3.16. Структурні лінії рельєфу. Порівняння фрагменту топографічної карти (а) та космічного знімку тієї ж місцевості (б)

Наочно її можна виділити за руслом будь-якого постійного водотоку. У суходільній частині мережа тальвегів чудово проявляється під час сильного дощу, саме ними рухаються тимчасові водні потоки.

Об'єднану систему водотоків (гідрографічну мережу) можна вважати системою водопостачання/водовідведення території. Схильні до поезії географи називають її кровоносною системою ландшафту. Дійсно схожість між ними на рівні організації та функціонування дивує. Гідрографічна мережа, як і кровоносна система, має складну структуру та високий рівень самоорганізації, що дозволяє їй забезпечувати дренаж значних територій без кризових проявів. Дослідження доводять, що навіть на невеликій площі важко спроектувати аналогічну штучну систему, яка б одразу «вписалась» у наявний рельєф без порушень його рівноваги.

Саме з тальвегами насамперед пов'язують прояви лінійної водної ерозії — яри. Інтуїтивно здається, що й боротьбі з ними має приділятися найбільша увага — засипати, вирівняти, знешкодити... Дійсно, у разі дуже великих витрат такий підхід спрацьовує, але відомо багато сумних прикладів, коли поруч зі знищеним яром через декілька років виникав новий.

У чому причина? У несистемному підході до оцінки рельєфу. Тальвег, а точніше ерозійна форма рельєфу, до якої він відноситься, — це лише прояв природного механізму оптимального водовідведення, а боротись із проявом без знешкодження причин безперспективно. Як і у випадку з кровоносною системою втручання людини в гідрографічну мережу має бути дуже обережним і таким, що

ґрунтується на всебічному аналізі всіх ландшафтних умов. Іноді легкого «інформаційного» втручання достатньо для того, щоб зупинити зростання яру, а іноді складні та витратні, але не продумані заходи, викликають небажані відгуки у віддалених і, здавалося б, зовсім не пов'язаних із місцем подій теренах.

Виникнення та функціонування кожного водотоку визначається його навколишнім рельєфом і насамперед площею, з якої до нього надходить поверхневий стік. Цю територію називають *водозбірним басейном* або просто *водозбором*.

За аналогією з живою природою можна сказати, що це кормова зона водотока-тальвега. І на цьому біологічні асоціації не закінчуються. У «світі рельєфу», наприклад, також існує конкуренція за просторовий ресурс, яка може призвести до перехвату однією річкою стоку сусідньої річки.

Зрозуміло, що чим більше річка, тим більша площа водозбору їй потрібна. Наприклад Дніпро «живиться» з території площею 504 000 км², а формування невеликої лощини може обумовлюватися декількома десятками гектарів. При цьому загальний водозбір Дніпра, на кшталт відомої матрьошки, ієрархічно вміщує в себе водозбори приток та більш дрібних елементів мережі.

Чітким правилом організації гідрографічної мережі є: *«Проміж двох тальвегів завжди розташовується вододіл»*.

Вододіл — лінія, що розділяє територію на протилежно орієнтовані схили та відповідно «спрямовує» поверхневий стік у два протилежні напрямки (рис. 6). Замикаючись, вододіли формують межі водозбірного басейну.

Тальвеги та вододіли називають структурними, або скелетними лініями рельєфу, підкреслюючи їхню важливість у будові останнього.

Традиційно виділення цих ліній (або ж побудова орографічної схеми) виконується по звичайній топографічній карті. При цьому орієнтуються на точки максимальних перегинів горизонталей. Саме за ними, з урахуванням напрямку схилу, слід проводити структурні лінії. Процедура нескладна при певній навичці, але належить до тих, які краще показати, ніж описати :).

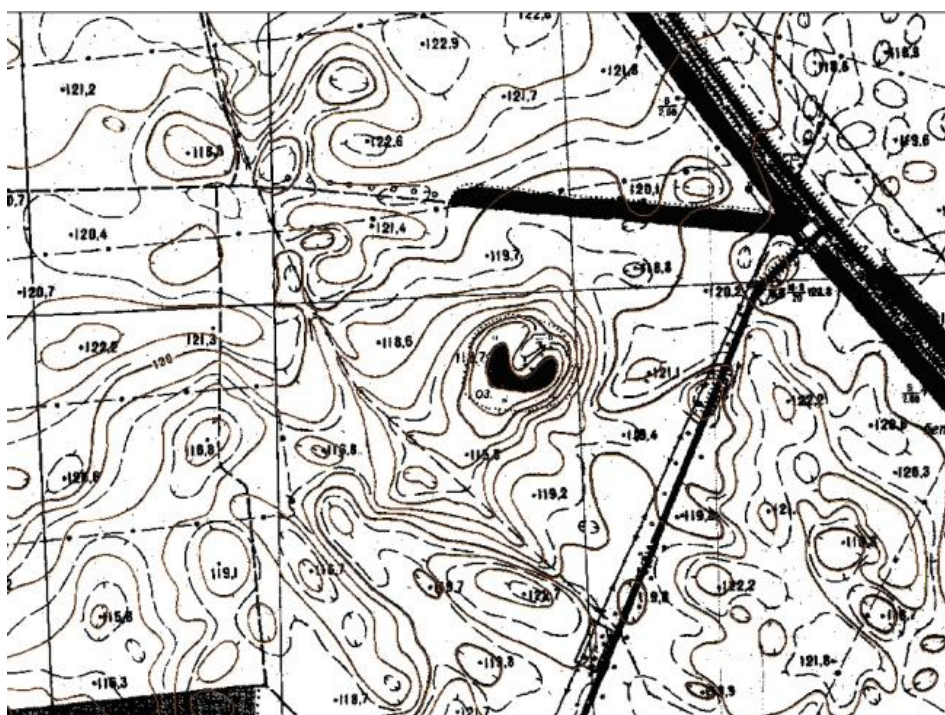
Але незважаючи на нескладність, ручне викреслювання має безумовні мінуси:

- помилки під час визначення верхніх ланок ерозійної мережі, які нечітко проявляються на карті;
- суб'єктивізм, особливо помітний під час виділення ліній вододілів, які не мають на карті такої чітко вираженої структури, як тальвеги.

За умов великих обсягів роботи та нечіткого рельєфу ці недоліки можуть призвести до сумних наслідків. Подивимось на типовий рельєф надзапlavної тераси Дніпра (рис. 3.17). Виділити на цій карті структурні лінії буде важко

навіть професіоналу. Чим не привід скористатися можливостями ГІС?

Крім того, ми не розглянули ще дуже важливе питання кількісних обчислень. Наприклад, визначення площі водозбору або довжини тальвегу є хоча і простою, але дуже кропіткою роботою. Звісно, що застосування ЦМР та специфічних видів її аналізу дозволить виконувати всі кількісні обрахунки швидко та точно.



Можливість гідрологічного аналізу території в тому чи іншому ступені закладена в багатьох ГІС, як у відомих пропрієтарних ArcGIS, Idrisi, TNTmips так і, що дуже приємно, у багатьох вільних — GRASS, ILWIS, SAGA та ін.

Першим кроком, такого аналізу є встановлення напрямку стоку з кожної чарунки ЦМР, для чого її абсолютну висоту порівнюють із висотою 8 сусідніх чарунок. Цей метод, що має назву D8, був запропонований О'Каллаганом і Марком (1984) (O'Callaghan and Mark). Якщо піксель із найменшим значенням висоти знаходиться на північному сході (праворуч по діагоналі) від центрального пікселя, останньому надається значення 1. Якщо найнижчу висоту має піксель, що розташований на сході, центральному пікселю надається атрибут 2, на півдні — 8, на заході — 32. і т. д. (рис. 3.19).

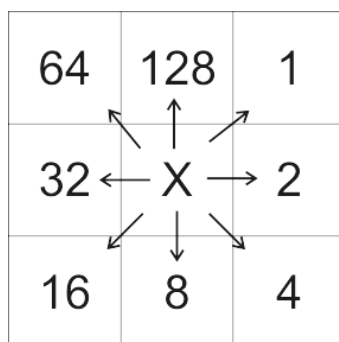
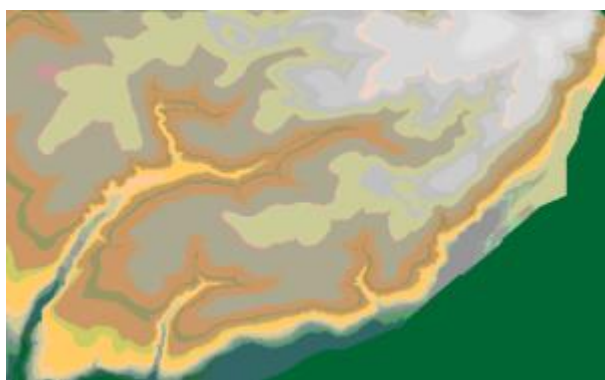


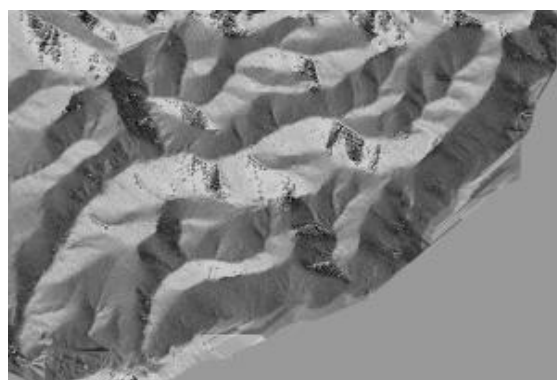
Рис. 3.19. Метод D8

Результатом його застосування буде растр, забарвлення кожного пікселя якого показує напрямок руху води з ділянки, що він презентує.

Наступним кроком бажано перевірити модель на наявність безстічних зон — ділянок, у яких значення висот менші за висоти меж водозбору. Часто такі зони є проявом некоректних первинних даних, але можуть характеризувати і природні явища: степні блюдця або ж карстові вирви.



а)



б)

Рис. 3.20. ЦМР (а) та растр (б) напрямків стоку

Якщо таких об'єктів на досліджуваній території немає, то для виправлення помилок виконується заповнення безстічних зон до значення мінімальної висоти межі водозбірного басейну, до якого ці зони належать.

Визначення водозбірних басейнів виконується також по растру напрямків стоку (рис. 3.20). Після заповнення зон депресій проводиться перевірка одержаного растру й, за необхідності, його повторне корегування.

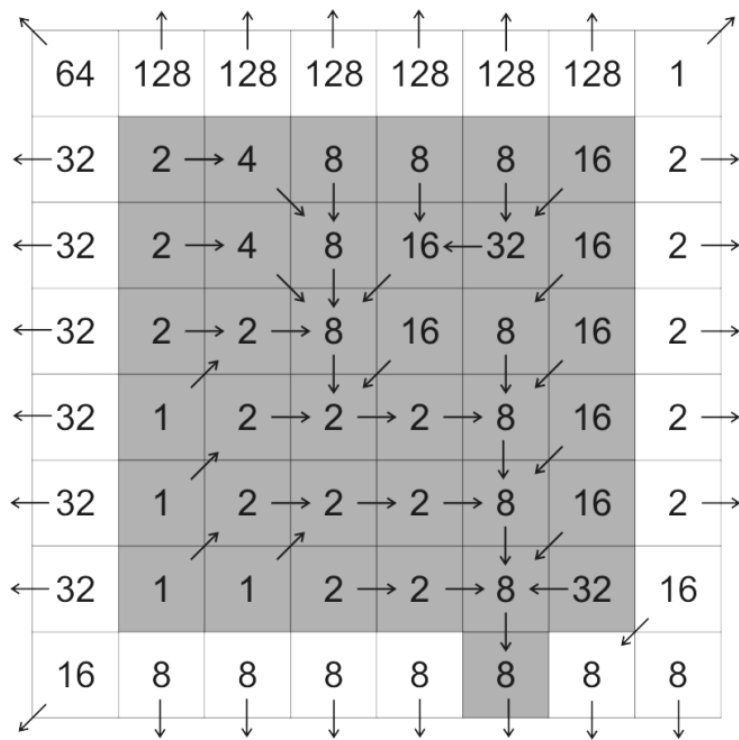


Рис. 3.21. Принцип виділення меж водозбірних басейнів



Рис. 3.22. Растр водозбірних басейнів

Далі, за скорегованим растром напрямків стоку, відбувається побудова растру, що характеризує акумуляцію стоку (рис.3.23). Значення кожного пікселя цього растру дорівнює кількості пікселів, які розташовані вище за схилом та стік із яких спрямовується в нього.

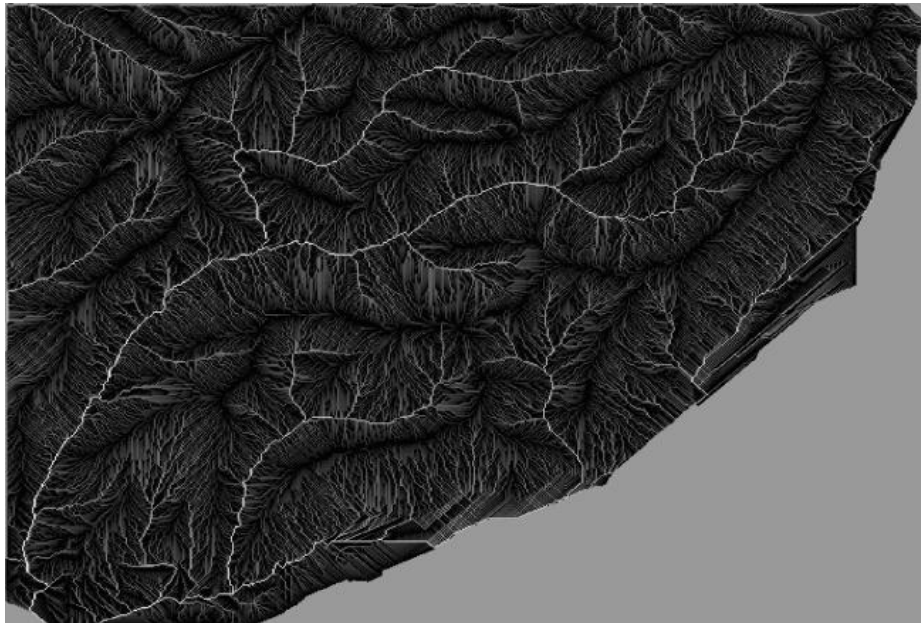


Рис. 3.23. Растр акумуляції стоку

Саме растр акумуляції стоку є базою для подальшого векторного виділення системи тальвегів території, що досліджується (рис.3.24).

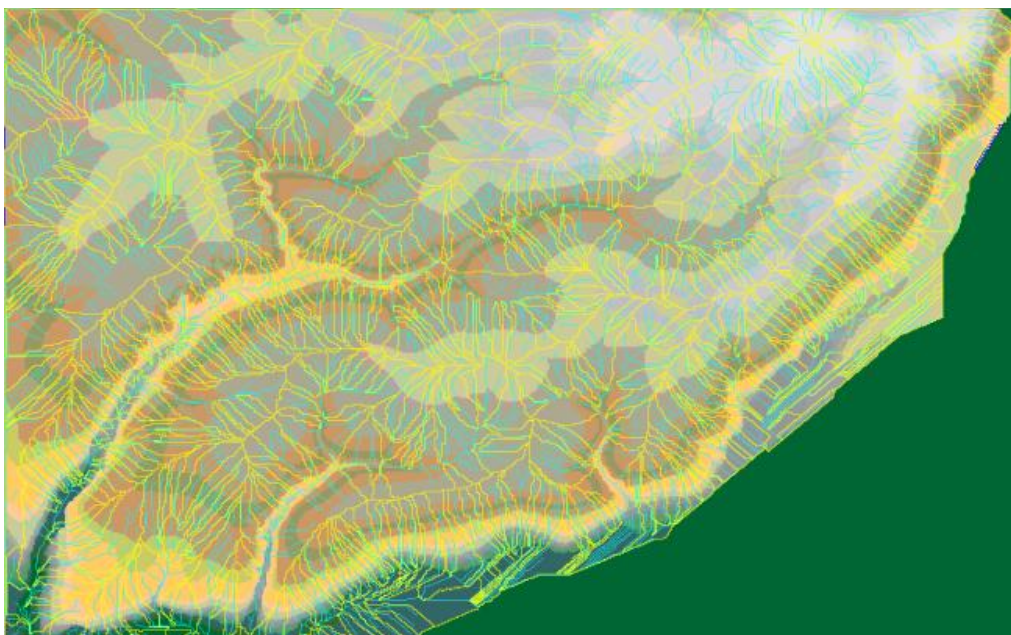


Рис. 3.24. Схема тальвегів та вододілів

На рисунку 3.24 представлений результат повного циклу структурного аналізу рельєфу, що був виконаний у програмі TNTgis. Блакитним кольором показані лінії тальвегів, жовтим — межі водозборів. Детальність структури рельєфу може бути змінена в налаштуваннях програми.

Результати структурного аналізу рельєфу дозволяють планувати протиерозійний захист території, покращувати мікроклімат ландшафту, боротися з забрудненням водойм, підвищувати врожаї й ще багато чого іншого.

3.3. Практична складова

Практична робота. Створення векторної моделі рельєфу певної території

Мета роботи. Векторизувати горизонталі використовуючи автоматичне або ручне трасування.

Сценарій роботи. Кожен Здобувач отримує чорно-біле растрове зображення топографічної карти. Потрібно підготувати основу для створення цифрової моделі рельєфу.

Для цього необхідно:

- 1) слід векторизувати всі горизонталі на чорно-білому растровому зображенні топографічної карти,
- 2) створити відповідну атрибутивну базу даних.

Теоретичні положення

1. Векторні дані у ГІС

Векторні дані є основним способом представлення географічних об'єктів у ГІС. Їх моделі базуються на використанні простих геометричних фігур, які ще називають графічними примітивами. Основними типами векторних об'єктів є:

- *Точки* – використовуються для опису об'єктів, розміри яких на карті є неважливими для поствалених завдань (наприклад, колодязь) або відсутніми (наприклад, точка вимірювання).
- *Лінії (полілінії)* – складаються з послідовності точок, з'єднаних прямими відрізками (ребрами). Лінії мають довжину і підходять для зображення протяжних об'єктів, які не мають значної ширини чи площі — наприклад, дороги, річки, межі.
- *Багатокутники (полігони)* – утворюються шляхом з'єднання точок у замкнений контур. Вони використовуються для представлення об'єктів, що займають певну площу (наприклад, озера, лісові ділянки, адміністративні райони).

2. Атрибутивна інформація

Окрім геометрії, кожен векторний об'єкт у ГІС містить набір додаткових властивостей, які називаються *атрибутами*. Атрибути можуть включати:

- Назва об'єкта
- Тип дорожнього покриття
- Площа, довжина
- Кількість поверхів будівлі тощо

Кожен об'єкт (точка, лінія або полігон) відповідає одному рядку у таблиці атрибутів шару. Атрибути використовуються для підписів, аналітики, тематики карт та стилізації зображення.

3. Формати збереження векторних даних

Для зберігання векторної інформації в ГІС існує багато форматів. Один із найпоширеніших — *Shapefile* (шейп-файл), розроблений компанією ESRI. Цей формат підтримується більшістю сучасних геоінформаційних систем.

Попри назву, набір даних у форматі Shapefile складається не з одного, а з кількох файлів із однаковою назвою, але різними розширеннями:

- **.shp** – основний файл, що містить геометрію об'єктів
- **.shx** – файл просторового індексу, необхідного для швидкого пошуку у шарі
- **.dbf** – таблиця атрибутів з описом властивостей об'єктів

Для коректної роботи всі ці файли одного шару обов'язково мають знаходитись у тій самій теці. Кожен набір Shapefile містить дані лише одного типу геометрії — точок, ліній або полігонів.

Інструкція стосовно виконання роботи

1. Створення нового векторного шару у QGIS

Щоб розпочати векторизацію растрового зображення, потрібно створити новий шар у форматі *.shp.

Для цього на панелі інструментів оберіть команду "*New Shapefile Layer*".

2. Вказування параметрів шару

У вікні створення нового шару задайте основні налаштування:

- Виберіть ім'я файлу з розширенням *.shp. Зверніть увагу, що всі додаткові файли для шару (необхідні для роботи формату shapefile) будуть створені автоматично у тій самій папці.
- Вкажіть тип геометрії відповідно до об'єктів, які плануєте оцифровувати (точка, лінія, полігон тощо). Наприклад, для оцифровки горизонталей потрібен лінійний (Polyline) шар.

- Оберіть систему координат для нового шару (за замовчуванням використовується WGS 84).
- Вкажіть кодування символів (стандартно встановлюється System, тобто те кодування, яке активне на вашому комп'ютері).

Увага! На цьому етапі перевірте, щоб заданий тип геометрії відповідав завданням роботи.

3. Налаштування таблиці атрибутів

За замовчуванням у таблиці атрибутів нового шару вже присутній один атрибут — "id" (цілочисловий ідентифікатор об'єкта). За потреби ви можете:

- Додати додаткові атрибути (наприклад, висота, тип об'єкта, тощо).
- Видалити автоматично згенерований атрибут, якщо він не потрібний.

4. Початок векторизації зображення

Оскільки створений шар ще не містить жодних об'єктів:

- Перейдіть до режиму редагування за допомогою кнопки **"Toggle Editing"** на панелі інструментів.
- Переконайтесь, що для векторизації вибраний саме той шар, з яким ви маєте намір працювати. Для цього зверніть увагу на вікно "Add Feature" — редагувати можна лише виділений у списку шар.

5. Зверніть увагу: Уважно слідкуйте, щоб під час векторизації був активний саме той шар, який ви створили. Це дозволить уникнути помилок і забезпечить коректність даних.

6. Додавання нових об'єктів

Для додавання нових елементів:

- Виберіть відповідну кнопку для додавання об'єктів (залежно від типу шару: точка, лінія чи полігон).
- Послідовно натискайте на потрібні місця растрового зображення, щоб обводити його контури. Для ліній та полігонів додавайте вершини, які автоматично з'єднуються відрізками.
- Оцифруйте об'єкти якомога точніше.

7. Додавання, редагування та завершення об'єктів під час векторизації.

Якщо під час векторизації ви помилково додали зайву вершину, виберіть інструмент "Node Tool", наведіть курсор на відповідну точку й видаліть її або скоригуйте положення.

- Для додавання вершин під час створення об'єкта скористайтесь лівою кнопкою миші — кожне натискання додає наступну вершину.
- Щоб завершити введення об'єкта, натисніть праву кнопку миші.

- Якщо створюваний шар має атрибути, після завершення креслення з'явиться діалогове вікно, в якому можна ввести їх значення. Після цього підтвердьте додавання об'єкта або, якщо потрібно, скасуйте.

8. Завершення редагування. Після завершення редагування шару обов'язково вийдіть із режиму редагування.

Для цього натисніть «*Toggle Editing*» та збережіть зміни за допомогою кнопки «*Save Layer Edits*» на панелі інструментів.

Дотримання топологічних правил при створенні векторних об'єктів

Під час створення нових векторних об'єктів важливо правильно будувати їхню геометрію. Для ліній, наприклад для доріг, які перетинаються або утворюють перехрестя, необхідно переконатися, що вони мають спільну точку (вершину) у місці перетину. Якщо такі вершини не збігаються координатами, ГІС не розпізнає ці лінії як елементи єдиної мережі, навіть якщо на карті вони візуально здаються з'єднаними або перетнутими. Це може призвести до некоректних результатів аналізу, наприклад при побудові маршрутів.

Ще одна типова помилка — неправильне формування багатокутників, коли під час додавання вершин порушується їхній порядок, або фігура перетинає саму себе. У такому разі замість очікуваної простої області може з'явитись хибна геометрична фігура, яка не відображає реальне розташування об'єкта. Такі та подібні невідповідності називають топологічними помилками.

Для покращення процесу векторизації в QGIS передбачено спеціальні інструменти — інструменти залипання (snapping). Вони дозволяють автоматично "притягувати" вершину лінії чи багатокутника до найближчої точки вже наявного об'єкта, щоб уникати помилок при їх з'єднанні.

1. Відкрийте меню налаштувань інструментів залипання

- У головному вікні QGIS перейдіть у меню «Вигляд» (View).
- Відкрийте розділ «Панелі інструментів» (Toolbars).
- Поставте галочку навпроти пункту «Інструменти залипання» (Snapping Toolbar).

2. Налаштуйте параметри залипання

- На панелі інструментів з'явиться додаткова панель із налаштуваннями залипання.
- Оберіть потрібний шар у списку.
- Вкажіть, до чого має здійснюватися залипання: до вершин (Vertex), до сегментів (Segment) або до об'єкта цілком.

- Встановіть максимально допустиму відстань залипання (Tolerance), наприклад, 10 пікселів — це означає, що якщо курсор під час додавання чи редагування нового об'єкта наблизиться до вершини або межі іншого об'єкта на цю відстань, програма автоматично «притягне» нову точку до існуючої.
- За необхідності можна активувати залипання одразу для кількох шарів та налаштувати для кожного із них свої параметри адгезії.

3. Використання залипання при векторизації

- Після того, як інструменти залипання активовані та налаштовані, під час векторизації нові об'єкти або вершини легко прилипають до вже існуючих точок чи ліній. Це дозволяє уникнути дрібних топологічних помилок, які призводять до невірної трактування просторових зв'язків у ГІС.
- Такий підхід особливо важливий при створенні доріг, річок, меж, багатокутників або будь-яких об'єктів, які повинні мати спільні вершини і не повинні перетинатися некоректно.

Зверніть увагу: Завдяки інструментам залипання ви можете значно підвищити точність оцифрування і створити коректну топологію просторових об'єктів.

3.4. Рекомендована література

Основна література

1. Геоінформаційні системи в науках про Землю : монографія / В. І. Зацерковний, І. В. Тішаєв, І. В. Віршило, В. К. Демидов. – Ніжин : НДУ ім. М. Гоголя, 2016. – 510 с.
2. Геоінформаційні системи і бази даних : монографія / В. І. Зацерковний, В. Г. Бурачек, О. О. Железняк, А. О. Терещенко. – Ніжин : НДУ ім. М. Гоголя, 2014. – 492 с.
3. Геоінформаційні системи і бази даних : монографія. – Кн. 2 / В. І. Зацерковний, В. Г. Бурачек, О. О. Железняк, А. О. Терещенко. – Ніжин : НДУ ім. М. Гоголя, 2017. – 237 с.

Допоміжна література

1. Achasov A., Siedov A., Achasova A., Titenko G., Seliverstov O. (2021) Creating Digital Elevation Models Using Budget Unmanned Aerial Vehicles. In: Dmytruk Y., Dent D. (eds) Soils Under Stress. Springer, Cham. P.37-48. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68394-8_4

2. Світличний О. О. Основи геоінформатики: Навчальний посібник / О. О. Світличний, С. В. Плотницький. Суми: Університетська книга, 2006. 294 с.
3. Бараннік В. О. Конспект лекцій з дисципліни «Геоматика і моделювання» (для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 101 – Екологія.) / В. О. Бараннік ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 46 с.
4. Костріков С.В. Практична геоінформатика для менеджменту охорони довкілля. Навчально-методичний посібник / С. В. Костріков, Б. Н. Воробйов – Харків: Вид-во ХНУ, 2003. – 103 с.
5. Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища: дистанційні методи : підручник / А. Н. Некос, А. Б. Ачасов, Е. О. Кочанов. – Х. : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2017. – 244 с.
6. Планування і управління ГІС-проектами: навч. посібник / В. Д. Шипулін, Є. І. Кучеренко; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. - Х.: ХНАМГ, 2009, 158 с.

РОЗДІЛ 4.

УПРАВЛІННЯ ПРИРОДНИМИ РЕСУРСАМИ

4.1. Загальні положення

Прийняття рішень у галузі управління природними ресурсами: структурований, адаптивний підхід. Зміст, структура й функції господарського механізму природокористування. Характеристика функціональних і забезпечувальних підсистем господарського механізму природокористування. Підсистема прогнозування та планування. Підсистема економічних стимулів. Підсистема контролю та нагляду. Блоки господарського механізму природокористування. Проблеми господарського механізму природокористування і їх вплив на стан довкілля в Україні. Система управління використанням природних ресурсів у країнах ЄС: приклади, особливості.

Наукові платформи для обговорення питань управління природними ресурсами. Всесвітній форум ресурсів.

Господарський механізм природокористування. Основні важелі адміністративного механізму природокористування. Організаційна структура господарського механізму природокористування. Державні органи управління природокористуванням та їх провідні функції. Функції місцевих органів влади у сфері раціонального природокористування. Роль та функції громадських організацій у сфері раціонального природокористування та охорони природи.

Система міжнародного екологічного співробітництва. Система забезпечення діяльності й управління господарським механізмом природокористування. Правове, фінансове, матеріально-технічне, кадрове, інформаційно-технічне та інше забезпечення діяльності у сфері охорони, відтворення та збалансованого природокористування.

Громадянське суспільство та управління природними ресурсами.

4.2. Теоретична складова

Вивчення теорії з розділу структуроване за темами, у яких слід звернути увагу на основну інформацію, наведену нижче. Теоретична складова розділу охоплює лекційну роботу і самостійну роботу здобувача.

Прийняття рішень у галузі управління природними ресурсами: структурований, адаптивний підхід

Управління природними ресурсами охоплює процеси прийняття рішень, за допомогою яких визначаються цілі, методи, механізми, оцінюються ризики й

невизначеності, реалізуються заходи щодо раціонального використання та відтворення ресурсів. Управлінські рішення мають вбудовувати екологічні, соціальні й економічні складові, забезпечуючи збалансований розвиток.

У науковій літературі виділяють два підходи: структурований (structured) та адаптивний (adaptive) підхід до управління ресурсами. Обидва підходи мають свої переваги та недоліки, але адаптивне управління (adaptive management) наразі використовується частіше, як оптимальний підхід в умовах невизначеності й складних екосистем.

Структурований підхід означає, що прийняття рішень відбувається за чітко визначеною схемою: постановка проблеми → збір даних → альтернативи → оцінка → вибір → реалізація → контроль. При цьому можуть застосовуватись інструменти, такі як метод аналізу ієрархій (АНР) для багатокритеріального вибору.

Такий підхід є зручним, якщо цілі чітко сформульовані, система керована, ризики та невизначеності помірні.

Адаптивний підхід базується на припущенні, що знання про екосистеми неповні, а процеси середовища змінюються. Отже, управління має бути «таким, що навчається» втілювати гіпотези, здійснювати моніторинг, оцінювати результати, коригувати дії.

Наприклад, у звіті United States Forest Service (PNW-GTR-654) наголошується, що «adaptive management... incorporates diverse academic perspectives including learning theory, public policy, and experimental science».

У ЄС-контексті на платформі European Environment Agency виокремлено, що adaptive management переходить від статичної до гнучкої моделі з моніторингом і корекцією.

Обґрунтування вибору підходу

Управління природними ресурсами в сучасних умовах характеризується високою невизначеністю (кліматичні зміни, антропогенні впливи), взаємозалежністю соціально-екологічних систем, необхідністю врахування інтересів численних сторін (зацікавлених учасників).

У таких обставинах адаптивний підхід є більш придатним, ніж жорсткий структурований, хоча останній може слугувати базою або етапом.

Отже, при розробці управлінської стратегії доцільно поєднувати структуровані моделі з елементами навчання / аналізу й корекції (тобто адаптивності).

Практичні кроки (рекомендований алгоритм)

1. Визначення цілей (екологічних, економічних, соціальних).
2. Формулювання системи показників (KPIs) і базового стану.

3. Моделювання альтернатив (сценарії) та оцінка ризиків.
4. Вибір керівної стратегії і плану заходів.
5. Реалізація та моніторинг.
6. Оцінка результатів, виявлення відхилень.
7. Коригування стратегії / методів (через повернення до кроку 3 або 4).

Такий цикл відповідає логіці «плануй - дій - перевірай - коригуй» (plan-do-check-act) в рамках адаптивного управління.

Зміст, структура й функції господарського механізму природокористування

Поняття господарського механізму природокористування

Господарський механізм природокористування розуміємо як сукупність організаційних, економічних, правових, фінансових, інформаційних та інших засобів і інструментів, що забезпечують реалізацію політики з використання, відтворення й охорони природних ресурсів.

Загалом **структура** господарського механізму природокористування містить такі підсистеми:

- підсистема прогнозування та планування;
- підсистема економічних стимулів;
- підсистема контролю та нагляду;
- інформаційно-аналітична підсистема;
- організаційно-управлінська підсистема.

Функції кожної з них визначаються їх значенням та особливостями у роботі механізму в цілому.

Серед ключових функцій:

- встановлення цілей і параметрів (норм, лімітів) використання;
- розробка та реалізація програм використання й відтворення ресурсів;
- стимулювання раціонального природокористування (через економічні, правові, організаційні важелі);
- контроль за дотриманням норм, моніторинг стану ресурсів;
- інформаційне забезпечення (збір, аналіз, прогнозування);
- коригування механізму відповідно до зміни середовища.

Взаємозв'язок підсистем

Підсистеми не функціонують ізольовано, між ними існує взаємодія: прогнозування дає основу для стимулів; контроль надає зворотний зв'язок; інформаційна система забезпечує моніторинг і аналіз; організаційна підсистема реалізує рішення через інституції.

Характеристика функціональних і забезпечувальних підсистем господарського механізму природокористування

Функціональні підсистеми

До функціональних підсистем належать ті, що безпосередньо забезпечують реалізацію природокористування:

- підсистема прогнозування та планування;
- підсистема економічних стимулів;
- підсистема контролю та нагляду.

Підсистема прогнозування та планування відповідає за аналіз ресурсного потенціалу, тенденцій, ризиків; розробку середньо- та довгострокових планів використання; визначення сценаріїв розвитку. Без такого прогнозу неможливе ефективне управління.

Наприклад, у контексті водних ресурсів адаптивне управління виділяє участь моделювання, сценаріїв і соціального навчання.

Підсистема економічних стимулів це комплекс інструментів, які мотивують суб'єктів природокористування до раціональної поведінки (економічні важелі): плати за користування, екологічні податки, платформи торгівлі квотами, субсидії за відтворення, виплати за екосистемні послуги.

Вони спрямовані на те, щоб включити екологічні «зовнішні ефекти» у економічні рішення суб'єктів.

Підсистема контролю та нагляду забезпечує моніторинг, оцінку, аудит, ревізію виконання планів і дотримання норм. Вона реалізує принцип зворотного зв'язку: результати впливів → аналіз → корекція.

До **забезпечувальних підсистем** належать ті, які створюють умови для функціонування господарського механізму:

- правове забезпечення;
- фінансове забезпечення;
- кадрове і матеріально-технічне забезпечення;
- інформаційно-технічне забезпечення.

Функції забезпечувальних підсистем надання можливості користування ресурсами, інструментами й інституціями для здійснення функціональних підсистем.

Взаємодію функціональних та забезпечувальних підсистем ілюструємо наступним прикладом. Для того щоб підсистема економічних стимулів працювала, потрібне правове підґрунтя (законодавство про екологічні податки), фінанси (екологічні фонди), інформація (аудит суб'єктів, оцінка впливу) та компетентні кадри. Контрольна система також залежить від інформаційної та технічної бази (моніторингу, ІТ-систем), а планування відповідно залежить від

даних та аналітики.

Блоки господарського механізму природокористування

У межах механізму природокористування можна виокремити такі ключові блоки:

- блок постановки цілей і стратегій;
- блок ресурсного аналізу та прогнозування;
- блок реалізації заходів (інструментів стимулювання, нормування);
- блок контролю, оцінки й корекції;
- блок інформаційного забезпечення і зворотного зв'язку.

Кожен з цих блоків утворює складову циклу управління ресурсами: від постановки задачі до моніторингу результатів і корекції.

Проблеми господарського механізму природокористування і їх вплив на стан довкілля в Україні

Проблеми

Серед характерних проблем в Україні варто виділити:

- слабе нормативно-правове та інституційне забезпечення: наприклад, незавершена гармонізація правового поля та недостатня інституційна спроможність;
- недостатній контроль і нагляд за використанням ресурсів: що призводить до перевитрат, деградації, неефективного природокористування;
- економічні стимули переважно не орієнтовані на відтворення природи, екологічні виплати чи внутрішні зовнішні ефекти, часто домінують короткострокові економічні вигоди;
- недосконала інформаційно-технічна база: недостатнє моделювання, моніторинг, аналітика і адаптивність управління;
- відсутність або слабка участь громадянського суспільства, недостатня прозорість використання природних ресурсів.

Вплив на стан довкілля

Головні наслідки:

- виснаження або деградація природних ресурсів (ліси, ґрунти, водні ресурси) через недостатню оцінку їх поновлення.
- погіршення екологічного стану: зниження біорізноманіття, порушення екосистемних функцій.
- підвищення екологічних ризиків для населення (забруднення, зниження якості води);

- втрати економічної ефективності через нераціональне використання ресурсів і необхідність відновлювальних заходів.

- зменшення довіри до системи управління через непрозорість і відсутність участі громадськості.

Українські реалії. Перспективи повоєнного відновлення та управління природними ресурсами

Стратегічний документ України «Основні принципи (Стратегія) державної екологічної політики України на період до 2030 р. (Закон № 2697-VIII від 28.02.2019) визначає серед цілей «забезпечення збалансованого природокористування» та «екосистемного підходу».

Разом із тим, з 2022 р. внаслідок повномасштабного війни на території України, господарський механізм природокористування зазнав суттєвих змін і викликів.

У межах територій з бойовими діями значного навантаження зазнають природні екосистеми. За даними WWF СЕЕ, понад 100 000 га природних екосистем пошкоджено через пожежі, спричинені військовими діями (наприклад, рух великої військової техніки, вибухи, руйнування) в Україні.

У низці випадків зруйновано чи пошкоджено промислові об'єкти, інфраструктуру водо- чи енергопостачання, що створює екологічні ризики (викиди, забруднення, руйнування дамб тощо).

Велика площа територій стала замінованою або містить вибухонебезпечні рештки, і це значно обмежує можливості природокористування, сільськогосподарської діяльності, створює ризики для безпеки людей та довкілля.

Війна вплинула на державні структури, структуру фінансування, інституційні функції та зв'язки: ресурси були переорієнтовано на оборонні потреби, що призвело до послаблення управлінських механізмів природокористування.

Згідно з оцінками Кабінету Міністрів України, лише прямі збитки докільню країни через війну оцінюються понад 108 млрд євро (станом на липень 2025 року).

Частина територій (зокрема природоохоронних, за даними UNDP) вже зазнали бойового впливу: понад 1,2 млн га заповідних територій зазнали значного впливу.

Проблеми деградації ресурсів, нові реалії організації сільського господарства та землекористування, з гострими викликами у сфері продовольчої

безпеки та економіки, руйнування енергетичної інфраструктури має віддзеркалення у трансформації функцій природокористування. Відповідно, спостерігаємо посилення невизначеності і потреби в адаптивному управлінні, механізм управління має бути більш гнучким.

У контексті відбудови України і переходу до держави-члена ЄС (у перспективі) господарський механізм природокористування має трансформуватися з урахуванням війни та постконфліктної ситуації.

Зокрема це про інтеграцію принципу «зеленої» відбудови.

Україна вже почала розробляти проєкти відновлення з орієнтацією на сталий розвиток (green recovery). Наприклад, це про законодавчі ініціативи щодо зеленої таксономії та «зелених» облігацій.

Це про розмінування та очищення територій як передумова для безпечного використання ресурсів. Без цього природні ресурси не можуть ефективно відновлюватися чи використовуватись.

Безумовно, це про модернізацію управлінських структур та інструментів. Є необхідність створити чи відновити інституції, які здатні працювати в умовах відновлення, з акцентом на моніторинг, оцінку, адаптивність. Зокрема, проєкт підтримки відбудови природи через моделі даних, аналітику, стратегічне планування.

Це про ресурсоефективність та зміну моделі природокористування. Відновлення має враховувати не просто повернення до довоєнного стану, а нову модель, що базується на циркулярній економіці, відновленні екосистем, використанні відновлюваних джерел енергії і т.і.

Вкрай важливою є участь громадянського суспільства й міжнародна кооперація, бо відновлення природних ресурсів потребує залучення місцевих громад, громадських організацій, міжнародних донорів, а також узгодження з європейськими нормами і практиками.

Важливим є планування з урахуванням невизначеності. Враховуючи, що фронт постійно змінюється, можливі нові руйнування, треба впроваджувати адаптивні підходи управління: моніторинг, сценарії, «план Б».

Вагому роль має фінансування та інструменти стимулювання, а саме створення екологічних фондів, «зелених» фінансових механізмів, субсидій, інвестиції в відновлення екосистем (наприклад, зрошення, лісовідновлення) та стимулювання сталого природокористування.

Існують складні виклики та ризики в процесі відновлення. Велика частина ресурсів і територій буде вимагати тривалого відновлення, можливо протягом десятиліть або століть.

Є також ризик, що відбудова пройде без екологічного підходу, з

поверненням до «старої моделі» з надмірним використанням ресурсів, слабким контролем, що може погіршити ситуацію.

Складним тривалий час буде питання безпеки. Міни і вибухонебезпечні рештки означають, що багато територій залишаються недоступними і ризикованими, це обмежує функціонування та можливості господарського механізму.

Також зміни клімату, які є і цей фактор посилюється і додає нових навантажень і вимог до адаптивного управління.

Проблемним питанням є потреба у капіталі, технологіях, фахівцях, бо людський, технологічний і фінансовий капітал був суттєво пошкоджений війною, що ускладнює відновлення.

Безумовно продовжує залишатись актуальною необхідність гармонізації з європейськими і міжнародними стандартами. Відбудова має враховувати майбутню інтеграцію у європейські екологічні та ресурсні рамки.

Система управління використанням природних ресурсів у країнах ЄС: приклади, особливості

European Commission визначає, що забезпечення сталого використання ключових природних ресурсів є однією з пріоритетних сфер політики ЄС.

У контексті ЄС управління природними ресурсами здійснюється через законодавство, директиви, спільні рамки та реалізацію на рівні держав-членів.

Один із прикладів це правило мережі Natura 2000, яке включає пріоритезацію дій та планування в рамках охорони природних територій (документ про Adaptive Protected Area Management).

У ЄС підхід до природокористування базується на інтегрованому управлінні, участі стейкхолдерів, моніторингу, адаптації та економічних механізмах (зокрема екосистемні послуги тощо).

Також активно використовується принцип циркулярної економіки та ресурсоефективності (resource efficiency) як елемент сталого управління.

Є низка актуальних для України особливостей системи управління природними ресурсами в ЄС серед яких важливість узгодження національних систем із стандартами ЄС (гармонізація); використання стимулів і ринкових механізмів (екологічні платежі, торгівля квотами); значення моніторингу, інформаційних систем, участі громадськості; адаптивність управління в умовах змін довкілля.

Наукові платформи для обговорення питань управління природними ресурсами. Всесвітній форум ресурсів

У сфері управління природними ресурсами активно працюють відкриті наукові платформи і журнали, які забезпечують доступ до методів, результатів і дискусій. Одним із прикладів є журнал Resources (Special Issue «Decision Making in Resources Management: Problems, Methods and Tools»), який має відкритий доступ.

Також діють відкриті звіти, технічні доповіді, міжнародні організації, які стимулюють обмін досвідом й методологіями.

«Всесвітній форум ресурсів» (World Resources Forum, WRF) — міжнародна платформа для обговорення сталого використання природних ресурсів, обміну досвідом між урядами, підприємствами, науковцями, громадськістю. Формує дискусії щодо матеріальних потоків, ресурсоефективності, політик керування ресурсами.

Господарський механізм природокористування. Основні важелі адміністративного механізму природокористування

Цей механізм можна бачити як «систему систем», що включає підсистеми, блоки, важелі та інституції. Його головна мета - забезпечити раціональне, ефективне, стале використання природних ресурсів при врахуванні відтворення, екологічної безпеки й соціальних інтересів.

Основні важелі адміністративного механізму це інструменти управління, що реалізуються через державні інституції, нормативно-правові акти, дозволи, ліцензії, обмеження, стандарти, екологічний аудит, санкції. Наприклад, видача дозволів на використання ресурсів, введення екологічних нормативів, контроль і санкції за порушення, система плат за забруднення чи використання.

Також важелі можуть бути комбіновані з економічними та соціальними (участь громадськості, інформаційна прозорість).

Організаційна структура господарського механізму природокористування. Державні органи управління природокористуванням та їх провідні функції

Організаційна структура включає державні органи (мінімум на трьох рівнях центральному, регіональному, місцевому), інституції громадянського суспільства, бізнес-сектор, наукові установи. У кожній країні вона формалізована через закони та підзаконні акти.

Державні органи на центральному рівні: міністерства, агентства, інспекції. Наприклад, в Україні діяльність у сфері природокористування та охорони довкілля координується Міністерством економіки, довкілля та сільського господарства України (створено 2025 р.).

Також існують державні інспекції, наприклад, Державна екологічна інспекція України, яка здійснює контроль за природокористуванням.

Провідні функції державних органів:

- формування державної політики природокористування;
- розробка законодавства та нормативів;
- видача дозволів, ліцензій;
- контроль і нагляд;
- моніторинг і оцінка стану довкілля;
- інформування громадськості, участь у міжнародному співробітництві;
- координація міжгалузевих заходів, забезпечення ресурсів для реалізації.

Функції місцевих органів влади:

- реалізація державної політики на місцевому рівні;
- розробка локальних планів природокористування (територіальних громад);
- контроль за дотриманням норм і правил на місцевому рівні;
- участь у моніторингу й інформаційному забезпеченні;
- залучення громадськості, організація громадських слухань;
- стимулювання місцевих заходів відтворення природи, екосистемних послуг, екологічних програм.

Роль та функції громадських організацій у сфері раціонального природокористування та охорони природи

Громадські організації (ГО) є важливими суб'єктами господарського механізму природокористування. Вони ведуть інформаційну й просвітницьку роботу; здійснюють громадський контроль, моніторинг; представляють інтереси громадськості при прийнятті рішень; реалізують проекти природоохоронного, відтворювального характеру; сприяють залученню міжнародної допомоги, грантів, кооперації.

Залучення громадськості підвищує прозорість, підзвітність і легітимність механізмів природокористування.

Практичні кейси ГО в Україні (приклад).

Кейс 1. SaveDnipro / SaveEcoBot: громадський моніторинг, фіксація екозлочинів та взаємодія з державою. Команда ГО «Збережи Дніпро» створила платформу SaveEcoBot (чат-бот + мапи) для повідомлення про порушення та громадського моніторингу повітря/радіації; у співпраці з держорганами додано інструменти повідомлення про екозлочини війни; розгорнуто партнерський проєкт із Safecast для мережі незалежного радіаційного моніторингу (Radnotes). Використовують інформаційно-технічне забезпечення (ІТ-платформа, відкриті

дані), підсистемау контролю й нагляду (збір свідчень), посилення державного нагляду через civic-tech. Як результат, масштабована участь громадян у фіксації порушень, підвищення прозорості даних, доказова база для правоохоронців/органів влади у справах про еко-злочини війни.

Кейс 2. Екодія (Ecoaction): адвокація «зеленої відбудови» та облік викидів війни. Розробляють і просувають рамку зеленої реконструкції (Green Reconstruction), публікують оцінки викидів ПГ від війни, ведуть комунікацію з громадами щодо включення кліматичних і ресурсних критеріїв у програми відбудови. Інструменти, які використовуються: підсистема прогнозування та планування (кліматичні баланси у планах відбудови), правове та фінансове забезпечення (євроінтеграційні підходи, таксономія), участь стейкхолдерів. Як результат, включення критеріїв енергоефективності, циркулярності та екосистемного відновлення у місцеві політики й національний дискурс повоєнної відбудови.

Кейс 3. ЕПЛ «Екологія-Право-Людина»: стратегічні судові позови (клімат, ліси, процедури). Реалізують public-interest litigation: історичні кліматичні справи проти бездіяльності держави (вимога розробити/запровадити процедури з обмеження та дозволів на викиди ПГ); постійні справи щодо лісового управління та процедур довкілля. Інструменти, які використовуються: правове забезпечення (суди як механізм примусу до виконання зобов'язань), контроль і нагляд (оскарження бездіяльності), інформаційне забезпечення (аналітика імплементації директив ЄС). Як результат, прецеденти, що зобов'язують органи влади встановлювати кліматичні/екологічні процедури, посилення прав громадськості на участь та оскарження.

Кейс 4. Екоклуб (Рівне): захист права громадськості на критику та участь у екологічних процедурах. ГО «Екоклуб» через суд оскаржувала висновок з ОВД та публічно критикувала ризики від проєкту деревообробного комбінату; попри спроби «втихомирити» активістів позовами про «наклеп», Верховний Суд відстояв право ГО на критику; у 2022 р. суд скасував позитивний висновок ОВД через порушення процедури участі громадськості. В діяльності використовують інструменти - адміністративно-правові важелі (ЕОВ/ОВД), судовий контроль, доступ до інформації, участь громадськості. Як результат, посилення стандартів ОВД, захист свободи слова екологічних ГО, кращі практики врахування зауважень громад.

Кейс 5. WWF-Україна / WWF-CEE: документування впливів війни на ПЗФ і адвокація рішень. Оцінили масштаб пожеж та втрат природних територій, готують огляди про стан ПЗФ під час війни, пропонують сценарії збереження та післявоєнного відновлення. Здійснюють інформаційне забезпечення (збір та

аналіз даних), прогнозування та планування (сценарії менеджменту ПЗФ), адвокацію політик. Як результат, визнання проблеми на міжнародному рівні й підготовка підґрунтя для інвестицій у відновлення природоохоронної мережі.

В цілому, ГО виконують роль “мультиплікатора спроможності” державної системи: заповнюють прогалини моніторингу, готують аналітику, ініціюють судові прецеденти, адвокатують реформи.

В умовах війни критичними стали документування еко-злочинів; громадський моніторинг (у т.ч. радіаційний); участь у плануванні «зеленої відбудови».

Міжнародне екологічне співробітництво охоплює дво- і багатосторонні угоди, конвенції; участь у міжнародних організаціях (наприклад, United Nations Environment Programme – UNEP); транснаціональні проекти, обмін досвідом і технологіями; інтеграцію національних політик із міжнародними стандартами.

Наприклад, документ «An Institutional Framework for Natural Resource Management» описує міжнародні аспекти управління ресурсами, зокрема роль громадянського суспільства, прозорості, інституцій.

Громадянське суспільство та управління природними ресурсами

Громадянське суспільство (ГО, ініціативи, місцеві спільноти) є невід’ємною частиною системи управління природними ресурсами. Воно виконує функції представлення інтересів місцевих громад у прийнятті рішень; контроль та моніторинг діяльності; участь у плануванні, громадських слуханнях, інформаційному обміні; реалізація практик сталого природокористування знизу-вгору (наприклад, місцеві екологічні проекти).

У контексті адаптивного управління залучення громадянського суспільства посилює соціальне навчання, підзвітність і легітимність рішень.

4.3. Семінар

Використовуючи матеріал лекції та додаткові матеріали, що вивчені під час самостійної роботи необхідно підготуватись до семінару за такими питаннями:

Теоретико-методологічні аспекти.

1. У чому полягає сутність адаптивного управління природними ресурсами, і які його ключові переваги над традиційними моделями управління?

2. Як взаємодіють структурований і адаптивний підходи у практиці прийняття рішень щодо природокористування?

3. Що таке господарський механізм природокористування, і які його головні функціональні та забезпечувальні підсистеми?

4. Як можна оцінити ефективність господарського механізму природокористування з позицій екологічної, економічної та соціальної результативності?

5. Яким чином моделювання допомагає приймати рішення в управлінні природними ресурсами? Які його обмеження?

Функціонування та інституційна структура.

6. Яку роль відіграють організаційні структури управління у забезпеченні сталого використання природних ресурсів?

7. Як змінюється роль держави у сфері природокористування в умовах децентралізації в Україні?

8. У чому полягає різниця між адміністративними та економічними важелями механізму природокористування?

9. Як побудована підсистема прогнозування та планування у сучасних моделях управління природними ресурсами?

10. Які основні фактори неефективності державного контролю за природокористуванням в Україні?

Порівняльні та міжнародні підходи.

11. Які основні принципи лежать в основі європейської системи управління природними ресурсами, і як вони відрізняються від української?

12. Як ЄС реалізує концепцію екосистемного підходу та ресурсоефективності у своїй політиці?

13. Які ключові напрями діяльності Всесвітнього форуму ресурсів (World Resources Forum) і як його ідеї можуть бути імplementовані в Україні?

14. Які існують платформи міжнародного співробітництва у сфері управління природними ресурсами та охорони довкілля (UNEP, UNECE, EEA тощо)?

15. Як глобальні ініціативи (наприклад, SDG 12 — Responsible Consumption and Production) впливають на національну політику природокористування?

Соціально-економічний і громадський вимір.

16. Яким чином громадянське суспільство може впливати на процеси прийняття рішень у сфері природокористування?

17. Як можна виміряти рівень участі громадськості в екологічному управлінні?

18. Яку роль відіграють місцеві органи влади у формуванні політики раціонального використання природних ресурсів?

19. Які існують механізми взаємодії між державними структурами, бізнесом і громадськістю в екологічній політиці?

20. Як забезпечити прозорість і підзвітність системи управління природними ресурсами в Україні?

4.4. Практична складова

Теми практичних робіт пропонуються на вибір (здобувачам потрібно обрати одну тему, відповідно до власних дослідницьких інтересів або запропонувати авторську тему).

Тема 1. Оцінка потенціалу «зеленого переходу» у регіональній економіці.

Мета роботи. Визначити можливості регіону щодо переходу до «зеленої» економіки з мінімізацією впливу на природні ресурси.

Завдання роботи.

- Проаналізувати структуру регіонального ВВП за секторами.
- Визначити частку екологічно орієнтованих галузей і потенціал їх зростання.
- Оцінити ресурсну інтенсивність економіки (використання енергії, води, матеріалів).

Алгоритм роботи.

1. Зібрати статистичні дані (Держстат, Eurostat, World Bank).
2. Розрахувати показники, наприклад, енергоємність, водоемність, матеріалоемність ВВП.
3. Побудувати «матрицю зеленого переходу»: галузь – ресурс – потенціал скорочення.
4. Визначити TOP-5 напрямів для екозростання і сформулювати рекомендації для прийняття управлінських рішень.

Тема 2. Розробка системи екологічних показників для управління ресурсами громади.

Мета роботи. Створити систему індикаторів сталого природокористування для територіальної громади.

Завдання роботи.

- Визначити 10–15 релевантних показників (економічних, екологічних, соціальних).
- Обґрунтувати порогові значення та частоту моніторингу.

Алгоритм роботи.

1. Проаналізувати міжнародні системи індикаторів (SDG, OECD, EEA).

2. Відібрати ключові для обраної для дослідження громади.
3. Розробити паспорт кожного показника (формула, одиниці, джерела).
4. Побудувати інтегральний «індекс збалансованості».

Тема 3. Роль громадянського суспільства в управлінні природними ресурсами

Мета роботи. Дослідити, як участь громад впливає на ефективність природоохоронної політики.

Завдання роботи.

- Провести аналіз 3 кейсів участі громад.
- Оцінити рівень прозорості, вплив на рішення, результативність.

Алгоритм роботи.

1. Вибрати кейси (наприклад, управління лісовими ресурсами, земельними або ґрунтовими ресурсами і т.і.).
2. Побудувати «матрицю впливу» (актори × етапи).
3. Визначити, які фактори підвищують довіру.
4. Сформулювати пропозиції для розширення участі.

Тема 4. Порівняльний аналіз систем управління природними ресурсами в ЄС і Україні.

Мета роботи. Порівняти інституційні моделі управління ресурсами в Україні та 2 країнах ЄС.

Завдання роботи.

- Ідентифікувати подібності й розбіжності в структурах, законодавстві, механізмах стимулів.

Алгоритм роботи.

1. Вибрати 2 країни ЄС (наприклад, Польща, Німеччина).
2. Побудувати таблицю «компетенції – інструменти – відповідальні».
3. Провести SWOT-аналіз української системи.
4. Сформулювати 5 пріоритетів гармонізації.

Тема 5. Розробка моделі «плати за екосистемні послуги» (PES)

Мета роботи. Навчитися оцінювати і монетизувати екосистемні послуги.

Завдання роботи.

- Ідентифікувати 2–3 типи послуг (очищення води, секвестрація CO₂, рекреація).
- Оцінити потенційний обсяг компенсацій.

Алгоритм роботи.

1. Вибрати територію або сценарій.
2. Застосувати підхід “benefit transfer” або “replacement cost”.
3. Розрахувати базову вартість послуг.
4. Розробити PES-схему (платник - отримувач - механізм контролю).

Тема 6. Побудова системи інституційного забезпечення природокористування

Мета роботи. Проаналізувати інституційну структуру управління природними ресурсами на різних рівнях.

Завдання роботи.

- Виявити основні органи, їхні функції, дублювання чи прогалини.

Алгоритм роботи.

1. Побудувати «дерево управління» (державні, регіональні, місцеві органи).
2. Визначити перекриття компетенцій.
3. Оцінити ефективність координації.
4. Запропонувати оптимізовану модель управління.

Тема 7. Оцінка сталості регіонального природокористування за допомогою індексного підходу

Мета роботи. Обчислити інтегральний індекс сталого природокористування для регіону.

Завдання роботи.

- Зібрати 10–12 показників (економічні, соціальні, екологічні).
- Нормувати, зважити, розрахувати індекс.

Алгоритм роботи.

1. Побудувати матрицю показників (у балах або реальних значеннях).
2. Застосувати метод ентропії або ваги за експертними оцінками.
3. Побудувати карту «зон сталості».
4. Визначити рекомендації для підвищення індексу.

4.5. Рекомендована література

1. Stankey G. H., Clark R. N., Bormann B. T. *Adaptive Management of Natural Resources: Theory, Concepts, and Management Institutions*. – Portland: USDA Forest Service, PNW-GTR-654, 2005. – 73 p. – Режим доступу: https://www.fs.usda.gov/pnw/pubs/pnw_gtr654.pdf

2. Lal P. *Integrated Natural Resource Management: Concepts and Practice*. // *Ecology and Society*. – 2000. – Vol. 5(2). – Article 11. – Режим доступу: <https://www.ecologyandsociety.org/vol5/iss2/art11>
3. European Environment Agency. *Adaptive Management of Natural Habitats*. – Copenhagen: EEA, 2022. – Режим доступу: <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/metadata/adaptation-options/adaptive-management-of-natural-habitats>
4. European Commission. *Sustainable Use of Key Natural Resources*. – Brussels: Directorate-General for Environment, 2024. – Режим доступу: https://commission.europa.eu/topics/environment/sustainable-use-key-natural-resources_en
5. *An International Agreement on Natural Resource Management: Discussion Paper*. – Brussels: European Circular Economy Platform, 2023. – 25 p. – Режим доступу: https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/an_international_agreement_on_natural_resource_management.pdf
6. CEEWEB for Biodiversity. *Adaptive Protected Area Management: Manual for Practitioners*. – Budapest: CEEWEB, 2020. – 46 p. – Режим доступу: https://www.ceeweb.org/documents/publications/Adaptive_Protected_Area_Management.pdf
7. United Nations Economic Commission for Europe. *An Institutional Framework for Natural Resource Management*. – Geneva: UNECE, 2021. – 62 p. – Режим доступу: https://unece.org/sites/default/files/2021-05/2017886_E_ECE_ENERGY_134_WEB.pdf
8. World Resources Forum. *World Resources Forum Annual Report 2023*. – St. Gallen: WRF Secretariat, 2023. – 64 p. – Режим доступу: <https://www.wrforum.org>
9. Song C., Liu Y., Liu L., Xian C., Wang X. A scientometric analysis of payments for ecosystem services research: Mapping global trends and directions // *Sustainability*. – 2023. – Vol. 15. – Art. 15649. – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/21/15649>
10. Закон України № 2697-VIII «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» від 28.02.2019 р. – *Відомості Верховної Ради України*. – 2019. – № 16. – Ст. 70. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19>

РОЗДІЛ 5.

НАУКОВО-ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ БІОЛОГІЧНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.

5.1. Загальні положення

Еколого-токсикологічні дослідження. Загальні підходи щодо здійснення еколого-токсикологічної оцінки якості поверхневих і підземних вод, ґрунтів та донних відкладень. Рекомендації з організації і проведення польових обстежень водних об'єктів. Процедури виконання методик біотестування, за допомогою яких визначають токсичні властивості ґрунтів, води і донних відкладень.

5.2. Теоретична складова

Вивчення теорії з розділу структуроване за темами, у яких слід звернути увагу на основну інформацію, наведену нижче.

***Тема: Науково-теоретичні засади використання біологічних методів
дослідження стану навколишнього середовища.***

Надходження у поверхневі водні об'єкти специфічних хімічних речовин токсичної дії призводить до суттєвих негативних наслідків, зокрема, відбуваються глибокі зміни в структурно-функціональній організації водних екосистем: порушується життєдіяльність водних організмів, біопродукційні та самоочисні процеси у водних об'єктах.

Хімічні сполуки, які здатні пригнічувати життєдіяльність організмів або призводити до їх загибелі називаються токсикантами. Наявність токсикантів у водному середовищі надає йому токсичних властивостей.

Різні хімічні речовини у будь якому водному середовищі присутні одночасно. При їх взаємодії між собою токсичність води змінюється.

При здійсненні оцінки якості води, як середовища мешкання водних організмів, необхідно враховувати різні види взаємодії хімічних сполук: адитивність – просту суму токсичного ефекту; синергізм – взаємне посилення токсичної дії, яка перевищує сумарний ефект; антагонізм – взаємне послаблення токсичної дії речовин.

Для визначення токсичних властивостей води з урахуванням сукупної дії присутніх у ній токсичних речовин використовується біотестування – метод експериментального визначення токсичності води за зміною певного показника

життєдіяльності тест-об'єкта.

Екосистема водного об'єкта не може розглядатися ізольовано від площі водозбору, у зв'язку з чим формування якості води, що відповідає вимогам різних видів водокористування, суттєво залежить від складу і властивостей зворотних вод, які надходять у водні об'єкти.

Основним екологічно небезпечним джерелом забруднення водних об'єктів є скид зворотних вод підприємств різних галузей економіки, житлово-комунального і сільськогосподарського господарства та ін.

Згідно з вимогами до якості води водних об'єктів рибогосподарського водокористування екологічно обґрунтованим гранично допустимим скидом є така кількість забруднюючих речовин, яка при надходженні у водні об'єкти зі зворотними водами не створює гостролетальних умов для водних організмів. У зв'язку з цим, нормативом гранично допустимого рівня токсичності зворотних вод на скиді у водний об'єкт, який забезпечує дотримання означених вимог, є *відсутність гострої летальної токсичності*.

Забруднення водних об'єктів токсичними хімічними речовинами може викликати хронічну токсичну дію води на водні організми, що проявляється у порушенні їх життєдіяльності і погіршенні самоочисної здатності водних об'єктів та їх екологічного стану. У зв'язку з цим, нормативом гранично допустимого рівня токсичності поверхневих вод, який запобігає порушенню життєдіяльності водних організмів, є *відсутність хронічної токсичності*.

Важливою складовою водних екосистем, де накопичуються хімічні речовини, у тому числі токсичні, є донні відкладення, які за певних умов призводять до вторинного забруднення водних об'єктів. У зв'язку з цим, при здійсненні еколого-токсикологічної оцінки стану водних об'єктів необхідним елементом є спостереження за забрудненням донних відкладень.

Еколого-токсикологічний показник є одним з екологічно значущих і обов'язкових у системі оцінки екологічного стану водних об'єктів, нормування і контролю токсикогенного навантаження на водні об'єкти.

Обстеження водних об'єктів слід проводити з урахуванням основних фаз водного режиму для умов мінімальної і максимальної витрат води; на водотоках – у повінь, зимову і літню межень; на водоймах з помірним і сповільненим водообміном – у літній час або восени; на водоймах з інтенсивним водообміном – навесні в період максимальної притоки води й у літньо-осінні місяці при мінімальних рівнях води, а також при найнижчих рівнях води під час льодоставу.

Для проведення польових обстежень встановлюють пункти спостережень на водних об'єктах, які мають важливе народно-господарське значення та підлягають значному забрудненню промисловими, господарсько-побутовими або

сільськогосподарськими зворотними водами.

На водних об'єктах пункти спостережень встановлюють:

- у районах розташування міст і крупних селищ;
- у місцях скидання зворотних вод окремими промисловими, сільськогосподарськими та іншими підприємствами;
- у замикаючих створах річок;
- у гирлах забруднених приток річок;
- у районах перетину річками державних кордонів.

У пунктах спостережень визначають створи для відбору проб. Місцеположення створів встановлюють з урахуванням особливостей водного об'єкта, розташування джерел забруднення, об'ємів, складу і властивостей зворотних вод, що скидаються.

За наявності організованого скидання зворотних вод на водотоках встановлюють три створи. Один з них розташовують вище за джерело забруднення (за межами впливу зворотних вод), другий – безпосередньо в районі скидання зворотних вод, третій – нижче за джерело забруднення. Склад і властивості води в пробі, відібраній в створі вище за джерело забруднення, характеризує фонове значення показників складу і властивостей води водотока. Порівняння фонових значень показників з показниками в пробі, відібраній нижче за джерело забруднення, дозволяє оцінити ступінь забрудненості вод під впливом джерела забруднення. Проба, що відібрана в районі скидання зворотної води, характеризує специфіку забруднень (забруднюючих речовин), які надходять у водний об'єкт із зворотними водами.

При організації спостережень на водоймах встановлюють не менше трьох створів, рівномірно розподілених по акваторії. На водоймах з інтенсивним водообміном розташування створів аналогічно їх розташуванню на водотоках: один створ встановлюють вище за джерело забруднення, решта створів – в районі скидання зворотних вод та нижче за джерело забруднення (не менше двох, на відстані 0,5 км від скидання зворотних вод і безпосередньо за межею зони забрудненості).

Підготовка до проведення польових спостережень включає розробку маршруту для виконання обстежень, програми проведення робіт, складання списку необхідного устаткування і матеріалів.

Під час обстеження водного об'єкта:

- проводять візуальний огляд стану водного об'єкта і його прибережної смуги. При проведенні візуального огляду звертають увагу на явища, які характеризують стан водного об'єкта: наявність каламутних струменів, завислих речовин, плаваючих домішок, сторонніх забарвлень, піни,

нафтових або масляних плівок на поверхні води і в прибережній смузі; виділення пухирців донних газів; обростання прибережного каміння, плаваючих предметів, штучних споруд; розподіл і склад вищих водних рослин; наявність і інтенсивність «цвітіння» води; наявність мертвої риби і інших водних організмів та інш.;

- здійснюють вимірювання температури води і повітря, реєструють погодні умови;
- визначають запах і прозорість води;
- проводять гідрологічні вимірювання ширини водотоку та швидкості плину води;
- здійснюють відбір проб води і донних відкладень.

Відбір проб води і донних відкладень

Від правильного відбору проб води залежить як наступний хід аналізу, так і достовірність отриманих результатів. Проби води необхідно відбирати в раніше підготовлений, промаркований, старанно вимитий і висушений посуд. Для цієї мети можна використовувати як скляні, так і поліетиленові ємності. Перед відбором проби ємності повинні бути кілька разів промиті водою, яка відбирається. Наповнена пробною ємність закривається кришкою, яка забезпечує відсутність контакту проби з атмосферним повітрям. Проба води при нагріванні (наприклад, в процесі транспортування) може розширюватись, тому між пробкою і поверхнею води в посудині повинен бути вільний простір (1-3 см). Об'єм відібраної проби води визначається її витратою на аналіз.

Крім того, необхідно враховувати наступне: проба води повинна бути репрезентативною для пункту спостережень; всі операції по відборі і доставці на місце для аналізу не повинні впливати на склад і властивості води.

При дослідженні якості води отримують інформацію щодо її складу і властивостей у певному місці або протягом певного проміжку часу. Залежно від цього розрізняють просту (точкову, одиничну, разову) і змішану (об'єднану, складну, усереднену) проби.

Проста проба характеризує склад і властивості води у даний час й у даному місці. Її одержують одноразовим відбором необхідної кількості води. Прості проби використовують у тих випадках, коли значення показників її якості непостійне й застосування змішаної проби стирає розходження між окремими пробами внаслідок реакцій хімічних речовин, які постійно відбуваються у водних розчинах. Прості проби звичайно відбирають для визначення якості води, яка містить нестійкі хімічні речовини.

Змішана проба характеризує усереднені склад і властивості води за певний

проміжок часу в певному об'ємі. Її одержують змішуванням простих проб, відібраних одночасно в різних місцях водного об'єкта (усереднення за об'ємом) або в тому самому місці через певні проміжки часу (усереднення за часом).

У протоколі відбору проб води повинно бути відображено: номер посудини, найменування водного об'єкта, дата і час відбору проби, місце відбору проби, об'єм та вид (проста, змішана) проби, засіб відбору проби.

Донні відкладення відбирають з метою оконтурювання зони поширення забруднення, визначення характеру, ступеня й глибини проникнення специфічних хімічних речовин токсичної дії у донні відкладення, вивчення закономірностей процесів самоочищення води для визначення можливості вторинного забруднення водного об'єкту.

Місце відбору проб донних відкладень визначають з урахуванням розподілу донних відкладень і закономірностей їх переміщення. Відбір проб обов'язковий у місцях, в яких донні відкладення досягають максимального значення (місця надходження зворотних вод, зони підпору приток), а також у місцях, де обмін забруднюючими речовинами між водною масою і донними відкладеннями може характеризуватися екстремальними значеннями (при вітровому переміщенні, на перекатах річок та ін.).

На водотоках при необхідності визначення впливу скидання зворотних вод на ступінь забрудненості донних відкладень проби відбирають вище і нижче місць скидання зворотних вод.

На водоймах проби відбирають у створах їх живлення водотоками, в зоні впливу скиду зворотних вод, у зоні нижнього б'єфу гідровузлів або в районі витоку річки з водойми, що обстежується.

Для оцінки динаміки забруднення донних відкладень проби відбирають на одній і тій же ділянці дна водного об'єкта.

Проби відбирають з періодом, що забезпечує можливість оцінки ступеня їх забрудненості у характерні фази гідрологічного режиму водного об'єкта та у різні сезони року.

У протоколі відбору проб донних відкладень повинно бути відображено: номер посудини; найменування водного об'єкта, дата і час відбору проби, місце відбору проби, об'єм та вид (проста, змішана) проби, глибина водного об'єкта в створі відбору проби, характеристика донних відкладень, товщина відібраного шару донних відкладень, ступінь хвилювання поверхні водного об'єкта, засіб відбору проби.

Відбір проб ґрунту

У зв'язку з тим що в твердих середовищах (ґрунтах) токсиканти рідко

розподілені рівномірно, існують певні методики відбору проб, що дозволяє нівелювати наслідки мозаїчності. Для визначенні забруднень промислового походження відбір проб ґрунту проводиться один раз на рік в літній період. При відборі проб ґрунту для аналізу необхідно дотримуватися вимог ДСТУ 4287:2004. Як правило, для контролю вибираються ґрунти, зайняті культурними рослинами. Для визначення точок відбору застосовується азимутний метод. Щороку проби відбираються навколо промислових центрів по чотирьом румбам на відстані 1; 2; 3; 5 і 10 км. Один раз в п'ять років обстеження ґрунту проводять більш детально по всіх 16 румбам і на відстанях 0; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2–5; 8; 10; 20; 30; 50 км. Положення точок пробовідбору відзначається на карті.

Методика відбору ґрунтових зразків визначається поставленими перед дослідником завданнями. У всіх випадках зразки повинні найбільш повно характеризувати досліджувану площу. Аналізуються індивідуальні та змішані зразки. Для характеристики біологічної активності ґрунтів на кожній стометровій ділянці беруть п'ять змішаних зразків конвертним способом. Кожен зразок складають з 5–7 індивідуальних проб. Якщо ділянка менше 100 м², достатньо брати три змішаних зразка по діагоналі, складених з 3–5 індивідуальних проб. Всі зразки аналізуються окремо. Роблять записи в щоденнику із зазначенням району досліджень, описом обраного місця закладки розрізу, ділянки поля (рельєф, рослинність, попередні культури, агротехніка, внесення добрив) і докладною характеристикою ґрунту. Обов'язково записують час взяття зразка. Проби ґрунту для біохімічного аналізу беруть спеціальними пробовідбірниками. Зазвичай вони представляють собою круглі трубки з міцного нейтрального матеріалу, пластмаса – діаметром 5 см з кришками. У відкритому стані пробовідбірник акуратно вганяють в ґрунт на максимально можливу глибину. Після цього трубка щільно закривається зверху кришкою і відразу (якщо дозволяє ґрунт) знизу закривається іншою кришкою. Якщо щільність ґрунту велика, то для закриття взятого зразку трубку необхідно дуже акуратно нахилити, щоб не порушити його всередині трубки, і потім закрити нижню кришку.

При відборі проб ґрунту буром змішаний зразок представляється з 20 кернів (уколів), відібраних через рівні проміжки по діагоналі пробних майданчиків, приблизно через 7-10 м. Всі відібрані керни змішуються в окремій ємності (відрі або банці). Звідси береться аналізований згодом зразок і поміщається в хімічно активну ємність (чиста скляна банка, пластикова ємність). Кожен зразок помічається етикеткою із зазначенням району взяття проби, шифру і номером керна, дати, прізвища дослідника.

Еколого-токсикологічну оцінку якості води здійснюють у польових

і лабораторних умовах.

У польових умовах для експрес-оцінки токсичності води використовують портативний пристрій – експрес індикатор токсичності (ЕІТ).

У лабораторних умовах для визначення токсичності води, ґрунтів і донних відкладень як обов'язкові використовують такі методики біотестування:

- для визначення рівня гострої токсичності води – методику біотестування за показником загибелі ракоподібних *Daphnia magna* Straus (далі – дафнії);
- для визначення рівня гострої летальної токсичності води – методику біотестування за показником загибелі ракоподібних *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (далі – церіодафнії);
- для визначення рівня хронічної токсичності води – методику біотестування за показниками виживаності і плодючості церіодафній;
- для визначення токсичності донних відкладень – методику біотестування за показником загибелі личинок комах *Chironomus dorsalis* Meig (далі – хірономіди).

Експрес-оцінка токсичності води у польових умовах

Експрес-оцінка токсичності води здійснюється з метою:

- виявлення найбільш екологічно небезпечних джерел забруднення водних об'єктів токсичними речовинами;
- виявлення надзвичайних ситуацій на водних об'єктах, обумовлених залповими або аварійними скидами токсичних речовин;
- спостереження за зміною в часі рівнів токсичності води водних об'єктів у місцях скидання екологічно небезпечних зворотних вод.

Для експрес-оцінки токсичності води використовується пристрій – експрес індикатор токсичності, в основу роботи якого покладено модифікацію методики біотестування на *Daphnia magna* Straus (далі – дафнії).

Наявність або відсутність токсичності води визначають за показником виживаності дафній.

Критерієм токсичності є загибель 50% і більше дафній у дослідній воді в порівнянні з контролем при тривалості біотестування до 48 год.

ЕІТ – портативний пристрій, в якому розміщено два штативи, що містять по 12 індикаційних посудин, шток, ліхтарик, лупу, термометр та запасні комплектуючі елементи.

Окрема індикаційна посудина є градуйованим циліндром об'ємом 20 дм³, усередині якого за принципом шприца пересувається поршень за допомогою штока – циліндричного корпусу, усередині якого розташовані елементи підсвічування. Індикаційна посудина закінчується штуцером з капіляром, за

допомогою якого здійснюється її заповнення водою. На кінці капіляра розміщується пелюстковий клапан, призначений для вирівнювання тиску у посудині. Дно індикаційної посудини виконано у вигляді сітки, яка виконує функцію фільтра при заповненні посудини водою і перешкоджає попаданню дафній в капіляр при спорожненні і заповненні посудини.

Перед використанням ЕІТ всі індикаційні посудини повинні бути ретельно вимиті, сполоснуті дистильованою водою.

Штативи з індикаційними посудинами встановлюють у похилому положенні. З посудин по черзі, утримуючи пелюстковим клапаном вниз, виймають поршні. Для цього затвор штока вводять в паз поршня і повертають на 90°. В такому положенні поршень міцно утримується штоком і може вільно переміщатися усередині посудини. Посудини заповнюють на 1/2 об'єму водою, в якій культивуються дафнії.

За допомогою скляної трубки в кожную посудину поміщають по 10 дафній у віці до 24 год, доливають воду до рівня на 10 мм нижче за верхній край посудини і вставляють поршень. Потім індикаційні посудини по черзі перевертають капіляром вгору, знімають з них клапани і, плавно переміщаючи поршні, видаляють з посудин пухирці повітря, надягають клапани на капіляри і закріплюють посудини в штативах, які фіксують у футлярі. У такому стані ЕІТ транспортують до місць відбору проб.

Додаткову кількість дафній доставляють разом з ЕІТ до місць відбору проб в окремих посудинах, заповнених водою для культивування дафній.

Пробовідбірником відбирають пробу води у допоміжну чисту посудину об'ємом 1-2 дм³, яка повинна бути не менше двох раз промита водою, що відбирається.

Штативи виймають із футляра і встановлюють у похиле положення. Для заповнення індикаційної посудини дослідною водою знімають пелюстковий клапан і витісняють з посудини через капіляр за допомогою поршня чисту воду, при цьому мінімальний залишковий об'єм води в посудині повинен бути не менше 2 дм³, щоб не травмувати дафній. Потім опускають капіляр у воду, яку аналізують, і, пересуваючи поршень, заповнюють посудину до верхньої мітки. Всю процедуру повторюють двічі для того, щоб дослідна вода була нерозбавленою.

Заповнені індикаційні посудини закріплюють в штативах і експонують протягом до 48 год. Якщо проба води містить органічні речовини, які легко окислюються, що може призвести до різкого зниження вмісту у воді розчиненого кисню, то експонування проводять у відкритих посудинах. Обов'язковою умовою проведення процедури біотестування в ЕІТ є наявність контролю, в

якості якого необхідно залишити не менше двох індикаційних посудин з дафніями у чистій воді. При цьому дослідних посудин, в які відбирають проби води у відповідному створі, повинна бути така кількість, як і контрольних.

Облік живих дафній проводять візуально або за допомогою лупи через 3, 6, 12, 24 і 48 год від початку експонування. Якщо підрахунок живих дафній проводиться в умовах недостатнього освітлення, то посудини освітлюють лампочкою, що розташована в штoku.

За результатами біотестування визначають наявність або відсутність токсичності води, у випадку її наявності – оцінюють ступінь токсичності води за критерієм загибелі 50 і більше відсотків дафній впродовж певного часу (таблиця 5.1).

Таблиця 5.1. Класифікація ступеню токсичності води

Тривалість експонування, години	Кількість загиблених дафній, %	Ступінь токсичності
3	$\geq 50\%$	надзвичайно токсична
6	$\geq 50\%$	високотоксична
12	$\geq 50\%$	середньотоксична
24	$\geq 50\%$	помірно токсична
48	$\geq 50\%$	слаботоксична
	$< 50\%$	нетоксична

5.3. Семінар

1. Вибрати тему і підготувати презентацію на 10 хвилин

1. Критерії та концепції оцінки токсичності речовини.
2. Вплив факторів середовища та властивостей організму на ступінь токсичного ефекту.
3. Біологічні методи контролю.
4. Токсиканти в нашій їжі.
5. Які параметри токсикометрії лежать в основі класифікації шкідливих речовин за ступенем небезпеки .
6. Етапи взаємодії організму з токсикантом від його потрапляння до організму – до виведення.

2. Використовуючи матеріал лекції та додаткові матеріали, що вивчені під час самостійної роботи необхідно підготуватись до семінару за

такими питаннями:

1. Історія біологічного тестування.
2. Біоіндикація довкілля. Загальні принципи використання біоіндикаторів.
3. Особливості використання рослин в якості біоіндикаторів.
4. Особливості використання тварин в якості біоіндикаторів.
5. Особливості використання мікроорганізмів в якості біоіндикаторів.
6. Сфери застосування біоіндикаторів.
7. Оцінка якості повітря, води та ґрунтів.
8. Біологічні індекси і коефіцієнти, використовувані при індикаційних дослідженнях.
9. Завдання і прийоми біотестування якості середовища. Вимоги до методів біотестування.
10. Сфера застосування методів біотестування. Тест-об'єкти, які використовуються при біотестуванні.
11. Відбір, зберігання, підготовка проб води, донних відкладів та ґрунтів. Експрес-оцінка токсичності води у польових умовах.
12. Методики біотестування.
13. Методика біотестування для визначення гострої токсичності води на ракоподібних *Daphnia magna* Straus.
14. Методика біотестування для визначення гострої летальної токсичності води на ракоподібних *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg.
15. Методика біотестування для визначення хронічної токсичності води на ракоподібних *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg.
16. Екологічні основи біоіндикації. Загальні поняття.
17. Біохімічні та фізіологічні реакції на антропогенні стресори.
18. Морфологічні, біоритмічні та зміни в поведінці під впливом антропогенних стресорів.
19. Хорологічні та популяційно-динамічні зміни, викликані антропогенними стресорами.

5.4. Практична складова

Практична робота

Методика оцінки токсичності водних джерел та ґрунтів за допомогою «Ростового тесту»

Мета роботи: навчитися оцінювати токсичні властивості об'єктів довкілля з використанням «Ростового тесту».

Рослини – це найбільш зручні індикатори забруднення навколишнього середовища, тому що вони є первісними ланками трофічних ланцюгів і відіграють головну роль у поглинанні різного роду забруднювачів. Унаслідок цього, за допомогою рослин можна достатньо точно оцінити екологічну ситуацію на досліджуваній території.

Сутність ростового тесту полягає в обліку змін показників проростання індикаторної культури, вирощеної на досліджуваних зразках ґрунту, води, водних витяжок ґрунтів тощо. Цей метод дозволяє оцінити не тільки пригноблюючу дію різних забруднювачів на рослини, але і стимулюючий ефект.

Перевагу віддають тест-культурам, які швидко проростають та є характерними для даного регіону. Наприклад, у регіонах з дерново-підзолистими ґрунтами в якості тест-культури використовують овес і горох; у регіонах зі степовими ґрунтами – пшеницю, люцерну, боби і квасоллю. Найбільш розповсюдженими тест-культурами є пшениця, огірок та салат.

Опис методу. Існує значна кількість варіантів проведення ростового тесту.

Деякі з них розглянуті нижче.

1. Пророщування тест-культур у чашках Петрі

При оцінці токсичності проб ґрунтів в чашку Петрі кладуть аркуш фільтрувального паперу, на який насипають 1 грам висушеного та подрібненого ґрунту і рівномірно розподіляють по ємності. Потім додають 5–7 мл води (використовують кип'ячену питну воду, яку попередньо відстоюють кілька днів) і на ґрунт висаджують по 30–50 насінин індикаторної рослини (в залежності від крупності). Найбільш зручними культурами для тестування в чашках Петрі є рослини з дрібним насінням – редис, гірчиця, цибуля звичайна (рис. 5.1). Контрольним субстратом у цьому випадку є ґрунт, відібраний на умовно чистій території (заповідник, заказник, курортна зона та ін.).

При оцінці токсичності водних зразків (стічних та природних вод, питної води тощо) в чашку Петрі кладуть аркуш фільтрувального паперу, зволожують його 5–7 мл водної проби і висаджують по 30–50 насінин. Через кожні шість годин проводять провітрювання чашок шляхом відкривання на декілька хвилин.

Дослід триває 72–96 годин. Контрольним субстратом є кип'ячена відстояна питна вода.

Після закінчення експерименту рослини обережно виймають з чашок Петрі (при необхідності змивають з них ґрунт) та вимірюють довжину кореневої і стеблової системи паростків, а також сиру масу десяти найбільш типових проростків. Потім рослини поміщують у паперові пакети і висушують протягом декількох днів, після чого визначають їхню суху масу.

Дослідження всіх варіантів проводять у трьох повторностях.

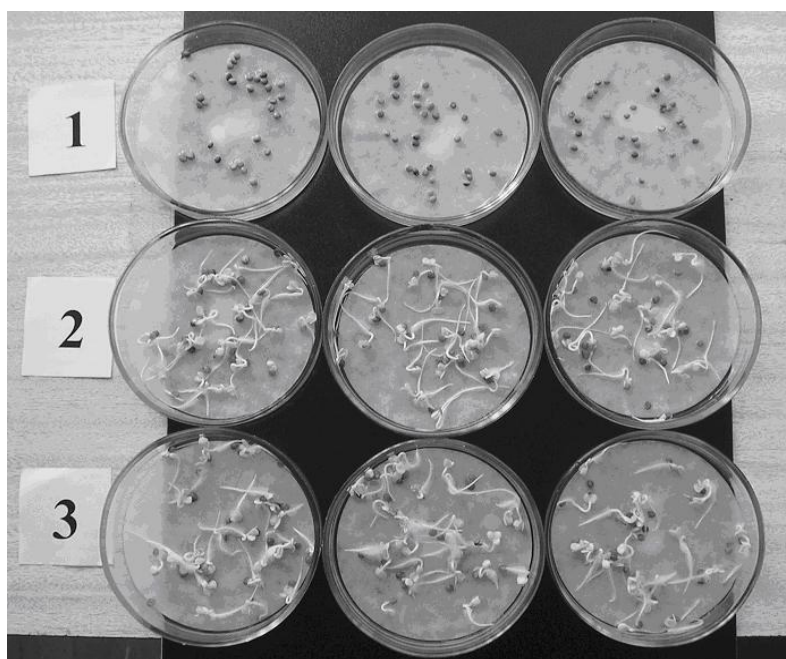


Рис. 5.1. Ростовий тест у чашках Петрі на насінні редису

2. Пророщування тест-культур на «плаваючих дисках».

При дослідженні токсичності проб *води і водних витяжок* за цим методом в лабораторнії склянки наливають досліджувані проби води чи витяжки в об'ємі 250–500 мл. Насіння індикаторної культури (по 20–25 насінин) пророщують на спеціальних плаваючих кільцях з пінопласту, обтягнутих марлею. Для цього дослідження найбільш зручною культурою є пшениця (рис.2). На перші кілька діб ємності з досліджуваними зразками накривають склом. Два-три рази на добу скло знімають на 10–15 хвилин для провітрювання.

На четверту добу ємності з насінням поміщають на полицю, де по можливості протягом 14-ти годин (з 6–00 до 20–00) підтримується постійне освітлення. Витримують рослини в таких умовах ще 2 тижні, фіксуючи наступні показники:

- час появи сходів і їхню кількість (кожну добу);
- довжину надземної частини проростків та їх приріст (кожну добу);

- загальну кількість пророслих насінин (на кінець експерименту).



Рис. 5.2. Ростовий тест на «плаваючих дисках» з насінням пшениці

При цьому звертають увагу на морфологічні особливості рослин (раннє пожовтіння, особливості розвитку кореневої системи та ін.). Дослідження всіх варіантів проводять у трьох повторностях. Контрольним субстратом є кип'ячена відстояна питна вода.

Через 2 тижні молоді рослини обережно звільняють із води та трохи підсушують на фільтрувальному папері. Потім проводять виміри довжини кореневої і стеблової системи (рис. 5.3) та визначають сиру масу десяти найбільш типових проростків. Після цього рослини поміщують у паперові пакети, висушують протягом декількох днів, а потім визначають суху масу.



Контроль

Проба 1

Проба 2

Проба 3

Рис.5.3 Вимірювання довжини надземної частини паростків пшениці

3. Пророщування тест-культур у ємностях

При дослідженні токсичності проб *грунту* в кожну з посудин вносять по 50–100 г субстрату, зволоженого до 70% (використовують кип'ячену відстояну питну воду), і висівають по 15–20 пророслих насінин тест-культури. У даному випадку індикатором може слугувати будь-яка рослина. Для дослідження використовують лабораторний скляний простерилізований посуд, у разі його відсутності – чисті пластикові стакани, чашки та ін.

На перші кілька діб посудини з досліджуваними зразками накривають склом. Два-три рази на добу скло знімають на 10–15 хвилин для провітрювання. На четверту добу ємності з висадженим в них насінням поміщають на полицю, та створюють для них умови, аналогічні вказаним вище (п. 2).

Неодмінною умовою проведення даного експерименту є підтримка постійної вологості досліджуваного ґрунту (на рівні 70% від повної вологоємності ґрунту), яка досягається наступним:

- перед закладкою досліду ґрунт просушують і зважують;
- підготовлений в такий спосіб ґрунт звожують такою кількістю води, що дозволяє досягти 70%-ї вологості;
- зволожений у такий спосіб ґрунт розносять в експериментальні ємності і визначають загальну вагу.

В ході експерименту зважування періодично повторюють і компенсують утрату вологи шляхом поливу відповідною кількістю води.

Дослідження усіх варіантів проводять в трьох повторностях. Контрольним субстратом у цьому випадку є ґрунт, відібраний в екологічно чистій зоні (заповідник, заказник, курортна зона та ін.).

Обробка результатів ростового тесту. Після проведення вимірювань для кожного з досліджуваних варіантів обчислюють середню довжину надземної і кореневої частин $x \pm m$, де m - помилка середнього арифметичного, яку визначають так:

$$m = \sqrt{\frac{\sigma^2}{N}}, \quad (5.1)$$

де N – кількість результатів; σ^2 – дисперсія, яку визначають за виразом:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x - \bar{x})^2}{N}, \quad (5.2)$$

Достовірність різниці середніх арифметичних t розраховується за критерієм Ст'юдента-Фішера:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}}, \quad (5.3)$$

де $\bar{x}_1$ - середнє арифметичне значення показника в контрольному досліді;
 $\bar{x}_2$ – середнє арифметичне значення показника у досліджуваному варіанті;
 m_1^2 – помилка середнього арифметичного в контрольному досліді;
 m_2^2 – те ж у досліджуваному варіанті.

Якщо фактично встановлена величина t більше або дорівнює критичному (стандартному) значенню t_{st} роблять висновок про існування статистично достовірної різниці між середніми арифметичними у досліджуваному та контрольному варіанті. Якщо ж фактична величина t менша за t_{st} , різницю між середніми вважають статистично недостовірною.

Відсутність статистично достовірної різниці між середніми значеннями біопараметра у контрольному та досліджуваному варіанті свідчить про відсутність значних змін ростових процесів у біоіндикаторів, в порівнянні з контрольним варіантом. Тобто ґрунт або вода у досліджуваному варіанті майже такої ж якості, як і в контрольному досліді та не має токсичних властивостей. І навпаки, статистично достовірна різниця між варіантом та контрольним дослідом вказує на те, що досліджуваний зразок (вода, ґрунт) мають фітотоксичні властивості.

Фітотоксичний ефект визначається у відсотках за будь-яким біопараметром: за масою рослини, довжиною кореневої або стеблової системи, кількістю ушкоджених рослин або кількістю сходів тощо. Розраховується фітотоксичний ефект за формулою:

$$\Phi E = \frac{M_0 - M_x}{M_0} \times 100 \%, \quad (5.4)$$

де M_0 – значення біопараметра (маса рослин, висота паростків, довжина корінців та ін.) у посуді з контрольним субстратом; M_x – значення аналогічного біопараметра у посуді з досліджуваним субстратом.

Приклад розрахунку

При дослідженні токсичності проб річкової води, відібраної на відстані 500, 1000 і 1500 м від місця скиду стічних вод підприємства, були отримані наступні результати (табл. 5.2). В якості біоіндикатора використовували насіння озимої пшениці, пророщування якої проводилося на «плаваючих дисках». Контрольним субстратом була вода, відібрана на відстані 500 м вище місця скиду стічних вод підприємства.

Таблиця 5.2. Результати оцінки токсичності річкової води, відібраної на різних відстанях від місця скиду стічних вод промислового підприємства за «Ростовим тестом»

Варіант							
Контроль (500 м до місця скиду)		500 м від місця скиду		1000 м від місця скиду		1500 м від місця скиду	
Висота рослин, см	Довжина коренів, см	Висота рослин, см	Довжина коренів, см	Висота рослин, см	Довжина коренів, см	Висота рослин, см	Довжина коренів, см
12,2	14,0	9,2	9,9	10,3	8,3	12,3	9,9
13,4	13,7	8,3	8,7	10,1	8,7	14,6	8,7
10,8	12,9	7,4	6,3	12,3	7,9	12,9	6,3
9,6	14,8	7,2	7,5	9,9	8,0	7,2	7,5
12,8	13,0	7,0	7,9	8,1	9,2	7,0	14,0
13,2	13,8	9,8	8,3	7,9	9,0	9,8	13,7
14,1	15,2	10,3	9,0	7,0	9,3	10,3	12,9
9,9	12,9	8,9	7,7	8,9	8,8	8,9	14,8
11,9	10,3	7,9	7,6	7,9	8,7	7,9	13,0
13,8	9,9	10,0	9,8	10,0	9,8	10,0	9,8
Суша маса 10 проростків, мг							
237		160		185		203	

Завдання:

- оцінити токсичність зразків річкової води, відібраних на відстані 500, 1000 та 1500 м від місця скиду стічних вод промислового підприємства;
- встановити розмір зони впливу стічних вод підприємства на водний об'єкт;
- обчислити величину фітотоксичного ефекту від дії стічних вод підприємства.

Хід розрахунків

Для кожного досліджуваного варіанта за формулою 6.2 обчислюємо середнє арифметичне висоти рослин і довжини корінців та дисперсію. Висота рослин у контрольному досліді:

$$\bar{x}_1 = \frac{12,2 + 13,4 + \dots + 13,8}{10} = 12,17 \text{ см}$$

$$\sigma_1^2 = \frac{(12,2 - 12,17)^2 + (13,4 - 12,17)^2 + \dots + (13,8 - 12,17)^2}{10} = 2,31$$

Довжина корінців у контрольному досліді:

$$\bar{x}_2 = \frac{14,0 + 13,7 + \dots + 9,9}{10} = 13,05 \text{ см}$$

$$\sigma_2^2 = \frac{(14,0 - 13,05)^2 + (13,7 - 13,05)^2 + \dots + (9,9 - 13,05)^2}{10} = 2,71$$

Помилку середніх арифметичних для кожного варіанта визначаємо за формулою 5.1:

$$m_1 = \sqrt{\frac{2,31}{10}} = 0,48 \text{ см}$$

$$m_2 = \sqrt{\frac{2,71}{10}} = 0,52 \text{ см}$$

Аналогічні розрахунки виконуємо для інших дослідів. Таким чином, для варіанту 1 (500 м від місця скиду) маємо:

- висота рослин $8,60 \pm 0,36$ см
- довжина корінців $8,27 \pm 0,33$.

Для варіанту 2 (1000 м від місця скиду):

- висота рослин $8,27 \pm 0,33$ см;
- довжина корінців $9,24 \pm 0,47$ см.

Для варіанту 3 (1500 м від місця скиду):

- висота рослин $10,09 \pm 0,76$ см;
- довжина корінців $11,06 \pm 0,90$ см.

Для визначення наявності чи відсутності токсичних властивостей у досліджуваних зразків, за формулою 5.3 визначимо достовірність отриманих результатів відрізняються від контрольного досліду:

Для варіанту 1 (500 м від місця скиду) маємо:

$$\text{висота рослин } t_1 = \frac{12,1 - 8,6}{\sqrt{0,48^2 + 0,36^2}} = \frac{3,57}{0,6} = 5,95,$$

$$\text{довжина корінців } t_2 = \frac{13,05 - 8,27}{\sqrt{0,52^2 + 0,33^2}} = \frac{4,78}{0,62} = 7,7,$$

Для варіанту 2 (1000 м від місця скиду):

$$\text{висота рослин } t_3 = \frac{12,17 - 9,24}{\sqrt{0,48^2 + 0,47^2}} = \frac{2,93}{0,67} = 4,35$$

$$\text{довжина корінців } t_4 = \frac{13,05 - 8,77}{\sqrt{0,52^2 + 0,18^2}} = \frac{4,28}{0,55} = 7,78.$$

Для варіанту 3 (1500 м від місця скиду):

$$\text{висота рослин } t_5 = \frac{12,17 - 10,09}{\sqrt{0,48^2 + 0,76^2}} = \frac{2,08}{0,9} = 2,31,$$

$$\text{довжина корінців } t_6 = \frac{13,05 - 11,06}{\sqrt{0,52^2 + 0,90^2}} = \frac{1,99}{1,04} = 1,9.$$

Результати розрахунків заносимо в табл. 5.3.

Таблиця 5.3. Середні арифметичні висоти рослин та довжини коренів, їх помилки та дисперсія для кожного варіанта

Варіант	Показник	Дисперсія σ^2	Середнє $x \pm m$	<i>t</i> - критерій
Контроль (500 м до місця скиду)	Висота рослин, см	2,31	12,17±0,48	-
	Довжина коренів, см	2,71	13,05±0,52	-
500 м від місця скиду	Висота рослин, см	1,33	8,60±0,36	5,95
	Довжина коренів, см	1,11	8,27±0,33	7,7
1000 м від місця скиду	Висота рослин, см	2,23	9,24±0,47	4,35
	Довжина коренів, см	0,32	8,77±0,18	7,78
1500 м від місця скиду	Висота рослин, см	5,74	10,09±0,76	2,31
	Довжина коренів, см	8,06	11,06±0,90	1,9

Значення $t_1, t_2 > t_{st} (\infty; 0,05)=2,96$, отже отримані результати достовірно відрізняються від контрольного варіанту. Це свідчить про те, що процеси росту рослин на досліджуваній воді, відібраній на відстані 500 м від місця скиду підприємства, дійсно пригноблені – отже вода має токсичні властивості.

Значення t_3, t_4 також більше 2,96, тобто висота рослин і довжина корінців, вирощених на зразках води з відстані 1000 м від місця скиду, достовірно відрізняються від контрольного варіанту. Це свідчить про те, що ростові процеси пригноблені і вода має токсичні властивості.

Значення $t_5, t_6 < 2,96$. Це вказує на те, що результати експерименту у варіанті з річною водою з відстані 1500 м від місця скиду статистично недостовірно відрізняються від контрольного досліджу. Це вказує на те, що токсичність води на відстані 1500 м від підприємства знаходиться на тому ж рівні, що і в контрольному варіанті, тобто вода не має токсичних властивостей і негативний вплив підприємства на річку відсутній.

Таким чином, зона впливу стічних вод підприємства на річку поширюється на відстань до 1000 м від місця скиду стічних вод (рис. 5.4).

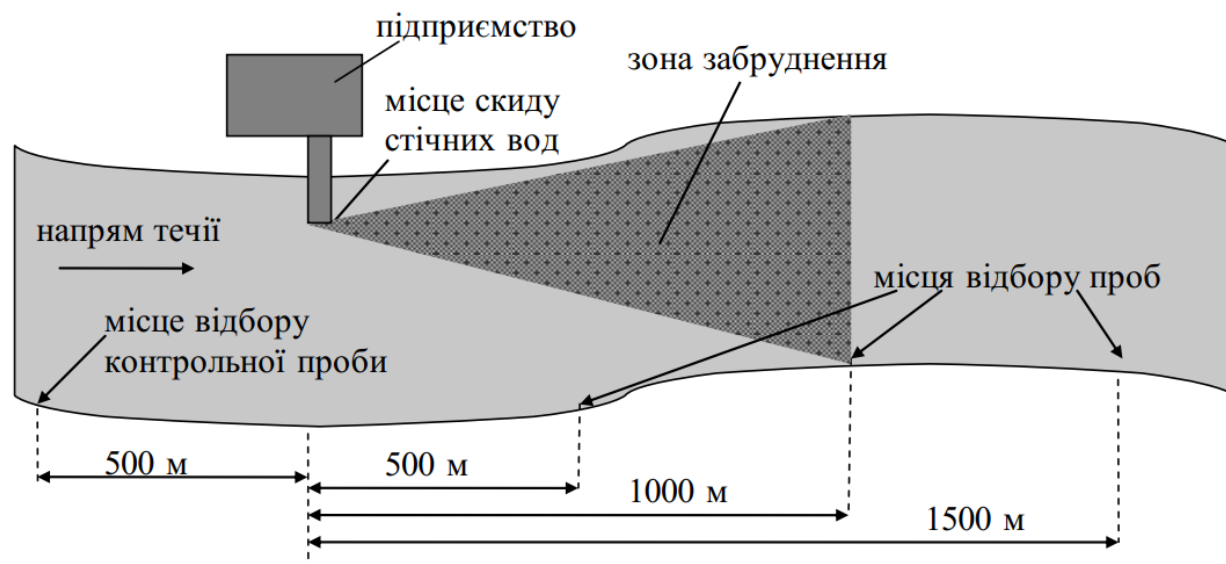


Рис.5.4. Зона впливу стічних вод промислового підприємства на річку

Середній фітотоксичний ефект від дії стічних вод підприємства на відстані 500 м від місця скиду становить:

$$\Phi E_{\text{ср}}^1 = \frac{29,3 + 36,6 + 32,5}{3} = 32,8 \%$$

Аналогічним чином підраховуємо величину фітотоксичного ефекту від дії досліджуваних вод на відстанях 1000 м та 1500 м від місця скиду. Результати розрахунків заносимо у табл. 5.4.

Таблиця 5.4. Фітотоксичний ефект від дії стічних вод підприємства

Параметр	Значення, %		
	500 м	1000 м	1500 м
ФЕ₁ (за висотою рослин)	29,3	24,1	17,1
ФЕ₂ (за довжиною коренів)	36,6	32,8	15,3
ФЕ₃ (за сухою масою)	32,5	21,9	14,4
ФЕ_{ср}	32,8	26,3	15,6

Таким чином, на відстані 500 м від місця скиду стічних вод процеси росту рослин за трьома ознаками пригноблені на 32,8% у порівнянні з контролем, на відстані 1000 м – на 26,3% і на відстані 1500 м – на 15,6%.

Висновки. У ході експерименту було встановлено, що:

1. Ростові процеси рослин, пророщених на досліджуваній воді з відстані 500 та 1000 м від місця скиду, пригноблені (показники росту достовірно відрізняються від контролю) – отже, вода має токсичні властивості.
2. Інтенсивність процесів росту рослин, пророщених на досліджуваній воді з відстані 1500 м, достовірно не відрізняється від контролю. Це свідчить про те, що вода не має токсичних властивостей.

3. Зона впливу стічних вод підприємства на річку поширюється на відстань до 1000 м від місця скиду стічних вод.
4. Результати обчислення фітотоксичного ефекту за сухою масою рослин показали, що з віддаленням від місця скиду стічних вод підприємства показники росту рослин поступово покращуються, і фітотоксичність води знижується з 32,8% на відстані 500 м до 15,6% на відстані 1500 м.

Контрольне завдання

Оцінити вплив стічних вод промислового підприємства на якість природної води за результатами ростового тесту. Варіанти вихідних даних наведені в додатку А і обираються відповідно до порядкового номеру Здобувача в списку академічної групи.

Звіт з практичної роботи повинен бути оформлений за відповідно з наведеним вище прикладом розрахунку.

Контрольні запитання

1. У чому полягає сутність ростового тесту?
2. Які рослини використовуються у якості індикаторів у ростовому тесті?
3. Які параметри контролюються при проведенні ростового тесту?
4. Про що свідчать достовірні відхилення показників росту рослин від контролю?
5. Яким чином визначається зона впливу стічних вод підприємства на поверхневі водойми?
6. Що таке фітотоксичний ефект і за якими показниками він визначається?

Додаток 5.А

Варіанти завдань до практичної роботи

Місце відбору проб	Варіант									
	1		2		3		4		5	
	В*	Д*	В*	Д*	В*	Д*	В*	Д*	В*	Д*
Контроль (500 м до місця скиду)	15,3	12,8	13,0	10,1	14,9	16,3	14,7	17,3	17,1	16,2
	13,4	12,3	12,0	8,7	13,4	13,7	13,4	13,7	13,4	13,7
	10,8	14,8	12,9	11,0	10,8	12,9	10,8	12,9	10,8	12,9
	9,6	14,8	7,2	7,5	12,3	14,8	9,6	14,8	9,6	14,8
	12,8	13,0	7,0	14,0	12,8	13,0	12,8	13,0	12,8	13,0
	12,0	13,8	9,8	13,7	13,2	13,8	13,2	13,8	13,2	13,8
	14,1	15,2	10,3	12,9	14,1	15,2	14,1	15,2	14,1	15,2
	10,5	14,8	8,9	14,8	12,0	12,9	9,9	12,9	9,9	12,9
	11,9	10,3	7,9	13,0	11,9	10,3	11,9	10,3	11,9	10,3
	13,8	9,9	10,0	9,8	13,8	12,7	13,8	9,9	13,8	9,9
Суша маса 10 проростків, мг	251		237		237		299		237	
500 м від місця скиду	8,9	8,0	7,0	9,0	9,2	9,9	10,8	6,8	5,1	4,9
	6,9	6,3	8,3	8,7	8,3	8,7	8,3	8,7	8,3	8,7
	7,2	6,3	7,4	6,3	7,4	6,3	7,4	6,3	7,4	6,3
	7,2	5,9	7,2	7,5	7,2	7,5	7,2	7,5	7,2	7,5
	7,0	7,9	7,0	12,9	7,0	7,9	7,0	7,9	7,0	7,9
	9,8	8,3	9,8	8,3	9,8	8,3	9,8	8,3	9,8	8,3
	10,3	9,0	5,0	9,0	10,3	9,0	10,3	9,0	10,3	9,0
	8,7	7,7	8,9	11,5	8,9	7,7	8,9	7,7	8,9	7,7
	7,9	7,6	7,9	9,0	7,9	7,6	7,9	7,6	7,9	7,6
	10,0	9,8	10,0	9,8	10,0	9,8	10,0	9,8	10,0	9,8
Суша маса 10 проростків, мг	160		201		160		160		160	
1000 м від місця скиду	10,0	5,2	10,3	8,3	10,3	8,3	10,3	8,3	12,3	16,4
	9,9	8,7	10,1	8,7	10,1	8,7	10,1	8,7	14,6	8,7
	11,9	11,2	12,3	15,0	12,3	7,9	12,3	7,9	12,9	6,3
	9,9	10,3	9,9	8,0	9,9	8,0	9,9	8,0	11,8	12,4
	8,1	9,2	8,1	9,2	8,1	9,2	8,1	9,2	11,4	14,0
	7,9	9,0	7,9	9,0	7,9	9,0	7,9	9,0	12,9	13,7
	7,0	9,3	7,0	9,3	7,0	9,3	7,0	9,3	10,3	12,9
	7,2	10,9	8,9	8,8	8,9	8,8	8,9	8,8	13,8	12,7
	7,9	8,7	7,9	8,7	7,9	8,7	7,9	8,7	14,7	13,0
	10,0	4,9	10,0	9,8	10,0	9,8	11,3	9,8	10,0	12,5
Суша маса 10 проростків, мг	185		212		185		185		212	
1500 м від місця скиду	15,3	13,6	8,0	10,1	12,3	9,9	10,0	8,2	12,3	9,9
	14,6	8,7	14,6	8,7	14,6	8,7	11,0	8,7	14,6	8,7
	12,9	6,3	12,9	6,3	12,9	6,3	12,9	6,3	12,9	12,6
	7,2	7,5	7,2	7,5	9,9	7,5	7,2	7,5	15,6	15,4
	7,0	14,0	7,0	14,0	8,6	14,0	7,0	14,0	10,9	14,0
	12,3	12,5	9,8	13,7	9,8	13,7	9,8	13,7	10,3	13,7
	14,5	12,9	10,3	12,9	10,3	12,9	10,3	12,9	10,3	12,9
	8,9	14,8	8,9	14,8	9,4	14,8	8,9	8,7	12,7	14,8
	7,9	12,1	7,9	13,0	11,6	13,0	7,9	9,2	15,3	13,0
	10,0	9,8	10,0	9,8	10,0	9,8	10,0	9,8	10,0	9,8
Суша маса 10 проростків, мг	203		226		203		203		229	

*Примітка: В – висота паростків, см; Д – довжина коренів, см.

Додаток 5Б

Місце відбору проб	Варіант									
	6		7		8		9		10	
	В*	Д*	В*	Д*	В*	Д*	В*	Д*	В*	Д*
Контроль (500 м до місця скиду)	12,3	9,9	13,7	14,0	13,7	14,0	12,9	16,5	12,8	13,8
	5,1	8,7	12,9	13,7	12,9	13,7	14,8	13,8	13,2	15,2
	12,9	6,3	14,8	12,9	14,8	12,9	13,0	15,2	14,1	12,9
	7,2	7,5	13,0	14,8	13,0	14,8	13,8	12,9	13,2	10,3
	8,9	8,7	13,8	13,0	13,8	13,0	15,2	10,3	11,9	9,9
	9,8	6,2	15,2	9,8	15,2	9,8	12,9	13,8	13,8	13,8
	10,3	9,8	12,9	15,2	12,9	15,2	14,1	15,2	14,1	15,2
	8,9	13,2	9,9	12,9	9,9	12,9	9,9	12,9	9,9	12,9
	7,9	13,6	11,9	10,3	11,9	10,3	11,9	10,3	11,9	10,3
	10,0	9,8	13,8	9,9	13,8	9,9	13,8	9,9	13,8	9,9
Суша маса 10 проростків, мг	212		301		250		242		237	
500 м від місця скиду	9,2	9,9	9,2	7,4	9,2	8,0	10,1	7,7	9,2	7,5
	8,3	8,7	8,3	7,2	8,3	9,2	12,3	9,1	8,3	7,9
	7,4	6,3	7,4	7,0	7,4	9,0	9,9	7,2	7,4	8,3
	7,2	7,5	7,2	7,9	7,2	9,3	8,1	7,0	7,2	9,0
	7,0	7,9	7,0	9,2	7,0	8,8	7,9	9,8	7,0	11,2
	9,8	8,3	9,8	9,0	9,8	8,7	7,0	8,3	9,8	11,3
	10,3	9,0	6,6	9,3	10,3	12,8	10,3	9,0	10,3	10,3
	8,9	7,7	8,9	7,7	8,9	8,8	8,9	7,7	8,9	8,9
	7,9	7,6	7,9	7,6	7,9	8,7	7,9	7,6	7,9	7,6
	10,0	9,8	10,0	9,8	10,0	9,8	10,0	9,8	10,0	9,8
Суша маса 10 проростків, мг	170		160		170		195		155	
1000 м від місця скиду	10,0	8,0	9,8	7,9	9,8	12,8	14,6	14,1	10,3	8,0
	10,1	8,7	9,3	8,3	9,3	8,3	10,1	9,9	10,1	9,2
	12,3	7,9	8,9	9,0	8,9	9,0	12,3	11,9	12,3	9,0
	9,9	8,0	8,9	8,0	8,9	8,0	12,8	12,8	9,9	9,3
	8,1	9,2	7,4	9,2	7,4	14,1	13,1	9,2	8,1	8,8
	7,9	9,0	9,8	9,0	9,8	9,0	12,3	11,7	7,9	8,7
	7,0	9,3	7,0	9,3	7,0	9,3	11,9	9,3	7,0	12,8
	8,9	8,8	8,9	8,8	8,9	8,8	12,4	8,8	8,9	8,8
	7,9	8,7	7,9	8,7	7,9	8,7	10,9	8,7	7,9	8,7
	10,0	9,8	10,0	9,8	10,0	9,8	10,0	9,8	10,0	9,8
Суша маса 10 проростків, мг	185		185		190		228		171	
1500 м від місця скиду	8,2	9,9	9,3	6,6	12,3	9,9	12,3	16,4	7,9	7,9
	9,8	8,7	8,9	8,9	14,6	8,7	14,6	8,7	8,3	8,3
	12,3	6,3	8,9	7,9	12,9	9,1	12,9	6,3	9,0	9,0
	8,7	7,5	15,2	7,5	7,2	7,5	15,7	17,0	6,1	7,7
	8,3	7,4	12,9	7,9	7,8	8,3	11,4	14,0	7,6	7,6
	9,8	9,8	10,3	9,2	9,8	13,7	16,1	13,7	9,8	8,8
	9,7	11,0	7,9	9,0	10,3	12,9	10,3	12,9	10,3	12,9
	8,9	12,0	8,9	14,8	8,9	8,4	13,8	14,8	8,9	8,1
	7,9	8,6	7,9	13,0	7,9	9,9	14,7	13,0	15,3	13,0
	9,4	9,8	10,0	9,8	10,0	9,8	10,0	12,5	10,0	9,8
Суша маса 10 проростків, мг	203		203		205		234		182	

*Примітка: В – висота паростків, см; Д – довжина коренів, см.

Додаток 5.В

Місце відбору проб	Варіант									
	11		12		13		14		15	
	В*	Д*	В*	Д*	В*	Д*	В*	Д*	В*	Д*
Контроль (500 м до місця скиду)	7,0	6,3	15,2	14,1	11,7	17,3	15,3	16,5	11,3	15,1
	9,8	7,5	12,9	9,9	13,2	13,8	13,4	13,7	13,4	13,7
	10,3	8,6	10,3	11,9	14,1	15,2	14,6	12,9	10,8	12,9
	8,9	8,3	9,9	13,8	13,2	12,9	13,2	14,8	12,9	14,8
	8,1	9,0	13,8	13,0	11,9	10,3	12,8	17,1	12,8	13,0
	7,9	8,7	15,2	13,8	13,2	13,8	13,2	13,8	13,2	13,8
	7,0	12,8	12,9	15,2	14,1	15,2	14,1	15,2	14,1	15,2
	8,9	8,8	9,9	12,9	9,9	12,9	15,5	12,9	10,5	12,9
	7,9	8,7	11,9	10,3	11,9	10,3	16,3	10,3	11,9	10,3
	10,0	9,8	13,8	9,9	13,8	9,9	13,8	16,9	13,8	10,5
Суша маса 10 проростків, мг	241		240		275		219		204	
500 м від місця скиду	8,2	9,2	9,2	9,9	7,0	9,2	10,4	10,9	9,2	10,0
	8,3	8,3	8,3	8,7	9,8	9,0	8,3	8,7	8,3	8,7
	7,4	7,4	7,4	6,3	10,3	9,3	9,2	10,2	7,4	6,3
	7,2	7,2	7,2	7,5	8,9	8,8	9,3	7,5	7,2	7,5
	7,0	7,0	7,0	7,9	7,9	8,7	8,8	7,9	7,0	8,6
	9,8	9,8	9,8	8,3	9,8	9,8	9,8	8,3	9,8	8,3
	10,3	6,6	10,3	9,0	10,3	9,0	10,3	9,0	9,3	9,0
	8,9	8,9	8,9	7,7	8,9	7,7	9,2	11,2	8,9	7,7
	7,9	7,9	7,9	7,6	7,9	7,6	8,4	11,3	7,9	7,6
	6,3	10,0	10,0	9,8	10,0	9,8	10,0	9,8	10,0	9,8
Суша маса 10 проростків, мг	215		155		160		160		160	
1000 м від місця скиду	5,3	4,1	10,3	8,3	13,6	8,0	12,3	12,1	12,5	11,6
	8,7	8,7	10,1	8,7	7,0	9,2	11,4	8,7	10,1	8,7
	7,9	8,3	12,3	7,9	8,9	9,0	12,3	14,3	12,3	12,8
	8,0	8,8	9,9	8,0	7,9	9,3	9,9	12,3	9,9	8,0
	9,2	8,7	8,1	9,2	12,4	8,8	8,1	11,0	8,9	9,2
	9,0	9,8	7,9	9,0	7,9	8,7	7,9	9,0	7,9	9,0
	6,2	9,3	7,0	9,3	7,0	9,3	7,0	9,3	7,0	9,3
	8,8	8,8	8,9	8,8	8,9	8,8	8,9	8,8	8,9	8,8
	8,7	8,7	7,9	8,7	7,9	8,7	12,1	8,7	7,9	8,7
	9,8	9,8	10,0	9,8	10,0	9,8	9,2	9,8	10,0	9,8
Суша маса 10 проростків, мг	236		198		185		189		175	
1500 м від місця скиду	5,9	8,4	12,3	9,0	12,9	9,8	11,9	9,9	10,3	9,9
	7,7	8,7	9,9	7,7	14,0	7,5	14,6	9,3	9,2	12,1
	9,1	6,3	8,1	9,8	13,7	14,0	12,9	6,3	9,5	10,1
	7,2	7,5	7,2	9,0	12,9	13,7	7,2	11,3	11,5	10,3
	7,0	9,6	9,9	7,7	14,8	12,9	7,0	12,3	12,1	11,4
	9,8	8,3	9,8	13,7	13,0	14,8	9,8	13,7	10,3	13,7
	8,9	9,7	10,3	12,9	7,9	13,0	10,3	12,9	10,3	12,9
	8,9	5,4	8,9	9,7	8,9	14,8	8,9	11,3	8,9	11,5
	7,9	13,0	7,9	9,2	7,9	13,0	8,7	11,7	7,9	9,9
	10,0	9,8	10,0	9,8	10,0	9,8	10,0	9,8	10,0	10,2
Суша маса 10 проростків, мг	225		202		250		197		185	

*Примітка: В – висота паростків, см; Д – довжина коренів, см.

5.5. Рекомендована література

1. Крайнюков О.М. Науково-методичні основи нормування антропогенного забруднення аквальних ландшафтів: Монографія. Харків: Екограф, 2013. 260с.
2. Крайнюков О.М. Еколого-токсикологічна оцінка якості поверхневих вод та донних відкладень : нав.-метод посібник / О.М. Крайнюков, А.М. Крайнюкова. Х.: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2011. 72с.
3. Крайнюков О.М. Біоіндикація та біотестування. Методичні вказівки до практичних робіт. Х. : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2019. 41с.
4. Еколого-токсикологічна оцінка якості компонентів довкілля: практикум/ О. М. Крайнюков, І. А. Кривицька. Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2020. 56 с.
5. Еколого-токсикологічна оцінка якості поверхневих вод, ґрунтів та донних відкладень : навчально-методичний посібник / уклад. О. М. Крайнюков, А. М. Крайнюкова, І. А. Кривицька. – Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2020. 100 с.
6. Біоіндикація та біотестування : методичні вказівки до проведення контроль-колоквиуму для студентів з галузі знань 10 Природничі науки за спеціальністю 101 «Екологія»/ О. М. Крайнюков, І. А. Кривицька. – Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2023. 31 с.
7. Еколого-токсикологічні дослідження : методичні вказівки до проведення контроль-колоквиуму для студентів з галузі знань 10 Природничі науки за спеціальністю 101 «Екологія». О. М. Крайнюков, І. А. Кривицька. – Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2023. 24 с.
8. Словник нормативних термінів і визначень у галузі охорони і використання вод. – Харків : УкрНЦОВ, 1992.
9. Методика визначення рівнів токсичності поверхневих і зворотних вод для контролю відповідності їх якості встановленим нормативним вимогам. – Київ : Мінекобезпеки України, 2000.
10. Єдине міжвідомче керівництво із організації та здійснення державного моніторингу вод. – Київ : Мінекоресурсів України, 2001.
11. Постанова Кабінету Міністрів України № 1100 від 11.09.96 «Про порядок розроблення і затвердження нормативів гранично допустимого скидання забруднюючих речовин та перелік забруднюючих речовин, скидання яких нормується».

- 12.КНД 211.1.4.054-97. Методика визначення гострої токсичності води на ракоподібних *Daphnia magna* Straus // Біотестування у природоохоронній практиці. – Київ, 1997.
- 13.ДСТУ 4173-2003. Якість води. Визначання гострої летальної токсичності на *Daphnia magna* Straus та *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (Cladocera, Crustacea) (ISO 6341:1996, MOD). – Київ : Держспоживстандарт України, 2004.
- 14.КНД 211.1.4.055-97. Методика визначення гострої летальної токсичності води на ракоподібних *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg // Біотестування у природоохоронній практиці. – Київ, 1997.
- 15.КНД 211.1.4.056-97. Методика визначення хронічної токсичності води на ракоподібних *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg // Біотестування у природоохоронній практиці. – Київ, 1997.
- 16.ДСТУ 4174-2003. Якість води. Визначання гострої сублетальної та хронічної токсичності хімічних речовин та води на *Daphnia magna* Straus та *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (Cladocera, Crustacea) (ISO 10706:2000, MOD). – Київ : Держспоживстандарт України, 2004.
- 17.Методика визначення токсичності на комахах *Chironomus dorsalis* Meig / затв. заступником Голови Державного департаменту рибного господарства Міністерства аграрної політики України від 22.02.2005 р.
- 18.КНД 211.1.4.058-97. Методика визначення гострої токсичності води на водоростях *Scenedesmus quadricauda* (Turp) Breb // Біотестування у природоохоронній практиці. – Київ, 1997.
- 19.ДСТУ 4166:2003. Якість води. Випробування за пригніченням росту прісноводних водоростей *Scenedesmus subspicatus*, *Scenedesmus quadricauda* і *Selenastrum capricornutum* (ISO 8692:1989, MOD). – Київ : Держспоживстандарт України, 2004.
- 20.КНД 211.1.4.057-97. Методика визначення гострої летальної токсичності води на рибах *Poecillia reticulata* Peters // Біотестування у природоохоронній практиці. – Київ, 1997.
- 21.ДСТУ 4074-2001. Якість води. Визначання гострої летальної токсичності хімічних речовин та води на прісноводній рибі [*Brachydanio rerio* Hamilton-Buchanan (Teleostei, Cyprinidae)]. Статичний метод (ISO 7346-1:1996, MOD). – Київ : Держспоживстандарт України, 2003.
- 22.Патент на корисну модель №45053. Спосіб біологічного тестування / О.М. Крайнюков, А.М. Крайнюкова; зареєстровано в державному реєстрі патентів України на корисні моделі 26.10.2009. (11) 45053 (13) U (51) МПК (2009) G01N 33/18.
- 23.Патент на корисну модель №45811. Пристрій для біологічного тестування

- води / О.М. Крайнюков, А.М. Крайнюкова; зареєстровано в державному реєстрі патентів України на корисні моделі 25.11.2009. (11) 45811 (13)U (51) МПК (2009) G01N 33/18.
24. Патент на корисну модель №65090. Спосіб визначення рівня гострої летальної токсичності зворотної води / О.М. Крайнюков, А.М. Крайнюкова; зареєстровано в державному реєстрі патентів України на корисні моделі 25.11.2011. (11) 65090 (13)U (51) МПК (2011) G01N 33/18.
25. Патент на корисну модель №67014. Спосіб визначення рівня хронічної токсичності природної води / О.М. Крайнюков, А.М. Крайнюкова; зареєстровано в державному реєстрі патентів України на корисні моделі 25.01.2012. (11) 67014 (13)U (51) МПК (2012) G01N 33/18.
26. Патент на корисну модель №85333. Спосіб визначення ступеня ураженості водної екосистеми / О. М. Крайнюков; зареєстровано в державному реєстрі патентів України на корисні моделі 11.11.2013. (19) UA. (11) 85333 (13)U (51) МПК (2013) G01N 33/18 (2006/01).
27. Патент на корисну модель №85348. Спосіб встановлення гранично допустимого рівня токсичності зворотної води / О. М. Крайнюков; зареєстровано в державному реєстрі патентів України на корисні моделі 11.11.2013. (19) UA. (11) 85348 (13) U (51) МПК (2013) G01N 33/18 (2006/01).
28. Патент на корисну модель № 113560. [Спосіб визначення ступеня забрудненості ґрунтів](#) / О. М. Крайнюков, І.А. Кривицька; зареєстровано в державному реєстрі патентів України на корисні моделі 10.02.2017. (19) UA. (11) 113560 (13) U (51) МПК (2017) G01N 33/24 (2006.01).
29. Патент на корисну модель № 139143. Пристрій для біологічного тестування води/ О. М. Крайнюков, А.М. Крайнюкова; зареєстровано в державному реєстрі патентів України на корисні моделі 26.12.2019. (19) UA. (11) 113560 (13) U (51) МПК (2006) G01N 33/24 (2006.01).

РОЗДІЛ 6.

ДЕНДРОІНДИКАЦІЯ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ ДЕНДРОХРОНОЛОГІЧНИМИ МЕТОДАМИ

6.1. Загальні положення

Предмет, цілі, задачі та історія розвитку дендрохронології. Діяльність камбію. Формування ранньої та пізньої деревини. Основні принципи дендрохронології. Дендрокліматологія як складова частина дендрохронології. Вплив сонячної активності на мінливість приросту дерев. Методи вивчення динаміки радіального приросту дерев. Індикація антропогенних впливів (забруднення, рекреації тощо) на лісові екосистеми. Дендрохронологія та лісове господарство. Обладнання для дендрохронологічних досліджень. Банки дендрохронологічних даних.

6.2. Теоретична складова

Вивчення теорії з розділу структуроване за темами, у яких слід звернути увагу на основну інформацію, наведену нижче.

Предмет, цілі, задачі та історія розвитку дендрохронології.

Діяльність камбію. Формування ранньої та пізньої деревини

Відома чимало визначень дендрохронології. Наприклад, запропоноване американським дендрохронології Г. Фрітсом (1968): *«Дендрохронологія - систематичне вивчення деревних кілець з метою датування подій минулого і оцінки кліматичних змін».*

Дендрохронологію часто поділяють на дендрокліматологію, яка займається реконструкцією минулих кліматичних умов, і власне дендрохронологію, яка лише датує річні кільця і події минулого. Дендрокліматологія як розділ дендрохронології займається датуванням річних кілець і з'ясуванням зв'язку динаміки радіального приросту дерев зі зміною геофізичних і кліматичних факторів в цілях відновлення (реконструкції) і прогнозування клімату та сонячної активності. В цих визначеннях коротко сформульовані цілі і завдання дендрохронології і дендрокліматології. Можна запропонувати і більш короткі визначення: *Дендрохронологія - вивчення мінливості ширини річних кілець (річного приросту) дерев для точного датування часу їх утворення.*

Дендрокліматологія - вивчення річних кілець дерев з метою оцінки змін клімату. Дендрохронологія базується на хорошій «пам'яті» дерев, що утворюють

лісові екосистеми, які в структурі, хімічному складі і розмірах річних кілець приросту чітко фіксуються всі зміни, що відбуваються як усередині екосистеми, так і в зовнішніх умовах, що визначають їх розвиток. Дендрохронологія відноситься до комплексного наземного методу досліджень, здатному з достатньою достовірністю і хронологічною точністю відновити хід минулого розвитку головного компонента лісової екосистеми - деревостану.

Дендрохронологія займається вивченням щорічної мінливості якісних і кількісних характеристик шарів приросту і виявленням факторів зовнішнього середовища, які визначають цю мінливість. Встановлені зв'язки між кліматичними умовами і приростом дерев дають підставу і для прогнозу мінливості продуктивності лісових насаджень. Для реконструкції кліматів минулого Землі використовують різні непрямі ознаки: показники різного типу вивітрювання гірських порід і накопичення опадів, включаючи склад і будова осадових порід, показники гідрологічних і інших природних процесів, копалини останки тварин і рослин. *Річні кільця дерев також несуть в собі інформацію про кліматичні умови минулого і дають можливість прогнозування майбутніх кліматичних змін.*

В мінливості річних кілець дерев також укладена інформація про циклічних коливаннях природних процесів. Деревні рослини можна використовувати в якості індикаторів впливу антропогенних факторів на лісові екосистеми. Ці питання вирішує ще один розділ дендрохронології - дендроіндикація. *Дендроіндикація - виявлення природних коливань природних процесів і екологічно значущих антропогенних змін на основі реакції на них деревних рослин і їх спільнот.* Зрозуміло, дендроіндикацію можна розглядати і в ширшому сенсі, ніж розділ дендрохронології, в залежності від застосовуваних методів дослідження.

Дендрохронологічний аналіз застосовується в багатьох областях науки: в геофізиці і астрономії для встановлення екологічних умов минулого; в кліматології і метеорології для з'ясування кліматичних умов і довготермінового прогнозування; для вивчення впливу кліматичних умов на зміну природи лісу і виникнення лісових пожеж; для вивчення вікової структури насаджень, зміни порід, природного поновлення; для прогнозування продуктивності лісів і оцінки лісогосподарських заходів; для оцінки впливу клімату на водні ресурси, річковий стік і рівень води в водоймах; для індикації частоти сходів лавин і селів; для датування вулканічних вивержень; в судово-біологічній експертизи (контроль за законністю вирубки деревини); в гляціології, гідролісомеліорації тощо.

Діяльність камбію. Формування ранньої та пізньої деревини

Між корою та деревиною міститься камбій. Він складається з вузьких довгих клітин твірної тканини з тонкими оболонками. Завдяки їх поділу відбувається ріст стебла у товщину і утворення на ньому річних кілець.

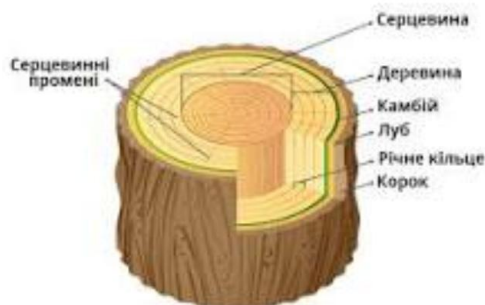


Рис.6.1. Внутрішня будова стебла

Камбій є вторинною меристематическою тканиною, яка в стеблах деревних рослин розташована між деревиною і лубом. Камбіальні клітини легко помітні взимку, коли камбій знаходиться в періоді спокою і його радіальні стінки потовщені. У вегетаційного періоду відбувається диференціація клітин похідних камбію, і в цей період ми маємо справу з так званої камбіальні зоною. Камбіальні клітини діляться тангентально на дві вузькі клітини, одна з них залишається камбіальні, а інша створює деревину, якщо звернена до серцевини, або створює флоему, якщо звернена до кори. Діяльність камбію в сторону деревини кілька інтенсивніше, ніж в сторону кори.

Річне кільце деревини, як правило, складається з двох частин. Одна частина розвивається в першій половині вегетаційного періоду і складається з тонкостінної і широкосмуговою провідної тканини. Ця частина річного кільця називається весняною, або *ранньою деревиною*. Друга частина річного кільця розвивається в другій половині вегетаційного періоду - влітку і частково восени, вона складається з товстостінних пізніх елементів, які здебільшого виконують механічну функцію. Цю частину річного кільця називають *пізньою деревиною*. Пізня деревина щільніша і характеризується високими технічними властивостями, тому від кількості пізньої деревини залежать в основному фізико-механічні властивості деревини даної деревної породи. Між ранньою і пізньою деревиною не існує чіткої межі, так як в більшості випадків перехід ранньої деревини в пізню відбувається поступово.

Наявність ранньої та пізньої деревини відповідає зміні фізіологічних функцій деревини в різні періоди року. В умовах помірного клімату навесні, на початку вегетаційного періоду, необхідно пропустити разом з висхідним потоком в максимальній кількості воду і розчинені в ній мінеральні речовини. Тому навесні камбій розвиває елементи з великими порожнинами і тонкою оболонкою, що володіють великою пропускну здатністю. У другу половину

вегетаційного періоду, навпаки, потрібне утворення механічних елементів з товстою оболонкою, з тим, щоб ствол зміг утримати важку крону. Тому камбій утворює пізню деревину після того, як листя досягнуть максимальних розмірів. У наших широтах кожному році відповідає одне річне кільце. Але в деякі роки в зв'язку з різко несприятливими для росту дерев умовами (тимчасові посухи, весняні заморозки, об'їдання листя комахами, інтенсивні викиди в атмосферу забруднюючих речовин і т.п.) під час вегетаційного періоду всередині річного кільця можуть сформуватися один або кілька шарів з дрібних і темних клітин, тобто шарів, що складаються з пізньої деревини. Такі шари схожі на справжні кільця, тому їх називають «фальшиві», а річні кільця, що складаються з помилкових кілець, - «множинні».

На формування річного кільця впливають: походження дерева, плодоношення, зовнішні умови (освітлення, географічна широта і висота над рівнем моря), ґрунтові та метеорологічні умови - вологість, температура і родючість ґрунту, температура повітря, кількість опадів, що випали і т.п.

Основні принципи дендрохронології. Вплив сонячної активності на мінливість приросту дерев.

Основні принципи дендрохронології запозичені із загальної екології. Основними з них є уніформізм, закон лімітуючих факторів, відбір районів і місць місцезростання, перехресне датування, повторність. Принцип уніформізму стосовно дендрохронології стверджує, що фізичні та біологічні процеси, що зумовлюють зміни в зростанні дерева під впливом факторів природного середовища в теперішній час, викликали подібні ж зміни в минулому. Цей принцип є обґрунтуванням широкого використання деревно-кільцевих хронологій для реконструкції минулих умов довкілля. У 1785 р. Джеймс Хаттон заявив, що «сьогодення – це ключ до минулого». Це твердження, в основному, означає, що ті ж процеси, які пов'язали біологічні процеси з умовами навколишнього середовища, також робили це і в минулому. Проте дендрохронологія додає цьому принципу новий «поворот»: «минуле – це ключ до майбутнього».

Суть принципу лімітуючих факторів полягає в тому, що біологічні процеси, зокрема зростання деревних рослин, не можуть протікати швидше, ніж це дозволяється зовнішнім або внутрішнім фактором, що знаходиться в мінімумі. У разі, якщо цей фактор в силу будь-яких причин переходить в розряд оптимальних, швидкість росту буде збільшуватися до тих пір, поки інший фактор (або фактори) не стануть лімітуючими. Наприклад, волога часто є лімітуючим ресурсом, особливо в посушливих районах, тоді як температура може бути лімітуючим фактором у районах висотної поясності. Принцип сукупності

складових росту дерев стверджує, що будь-які індивідуальні серії можуть бути розкладені в сукупність факторів довкілля. Обидві групи факторів як природні, так і антропогенні впливають на приріст дерев протягом всього їх життя. Наприклад, ріст кільця влюбий рік є функцією сукупних факторів: • вікового тренду, який обумовлено процесом старіння дерев; • погодних умов, які сталися в рік виникнення якогось явища (наприклад, вітровалу, льодолому тощо) в межах лісового масиву, що вплинули на явища, які виникли в середині масиву (наприклад, вітролам); • виникнення явищ зовні лісового масиву (наприклад, спалах комах, внаслідок чого виникає дефоліація крон і знижується приріст дерев); • випадкові (помилкові) процеси, які не враховані іншими процесами. Отже, щоб максимізувати бажаний екологічний сигнал, який вивчається, інші фактори повинні бути зведені до мінімуму. Наприклад, для максимізації кліматичного сигналу слід усунути віковий тренд, а дерева та ділянки обрати такі, щоб мінімізувати можливості внутрішніх та зовнішніх екологічних процесів, що впливають на ріст дерев. Принцип екологічної амплітуди стверджує, що види можуть рости, розмножуватися та поширюватися в широких, вузьких чи обмежених ареалах. Цей принцип важливий, оскільки види дерев, корисні для дендрохронології, часто зустрічаються біля меж їх природного ареалу, наприклад, ялини білої ялини (*Picea glauca*) поблизу верхньої широти.

Принцип відбору районів і місць місцезростання. Цей принцип стверджує, що ділянки, які даватимуть корисні для дендрохронології дані, можна вибирати, виходячи з того, що дерева будуть формувати кільця, які відображають екологічні умови, що досліджуються. Наприклад, якщо вивчаються умови посухи в минулому, необхідно відбирати зразки дерев, що ростуть на територіях, які ростуть в посушливих умовах. У сприятливих для росту дерев місцезростання формуються широкі річні кільця. При цьому у таких дерев добре виражені зміни приросту з віком, а величина приросту між сусідніми роками коливається в незначних межах. Подібна послідовність в мінливості ширини річних кілець отримала назву «благодущна». У несприятливих для зростання дерев умовах кільця приросту вузькі, їх ширина значно коливається рік від року, вікова крива росту виражена слабо. Часто спостерігається випадання кілець. Такі серії кілець називаються «чутливими». Чим сильніше річна мінливість величини приросту дерев, тим надійнішим індикатором змін умов середовища вона є.

Принцип перехресного датування є найважливішим в дендрохронології і розроблений з метою абсолютного і відносного датування часу формування деревних кілець з точністю до року. Деревні рослини, які ростуть в межах однорідного в кліматичному відношенні району, величиною приросту схоже реагують на зміни лімітуючих кліматичних факторів. У сприятливі за

кліматичними умовами роки у більшій частині дерев формуються широкі кільця, а у несприятливій - вузькі. У зв'язку з цим у таких дерев спостерігається синхронна мінливість величини приросту в часі. Особливо показовими є вузькі кільця, коли приріст найбільшою мірою лімітується тим чи іншим кліматичним фактором (наприклад, в разі гострого дефіциту вологи в посушливі роки). Чергування вузьких, середніх за величиною і широких кілець неповторно в часі. *Тому максимально можлива синхронність в прирості між різними деревами спостерігається лише в тому випадку, якщо графіки зміни приросту будуть суміщені строго хронологічно.*

Принцип повторності, тобто використання інформації не з одного, а з певного числа модельних дерев, є неодмінною умовою точного датування кілець, побудови надійних деревно-кільцевих хронологій і створення більш точної реконструкції умов середовища в теперішній час і в минулому.

Вплив сонячної активності на мінливість приросту дерев

Ритмічність природних процесів Основою організованості біосфери служить система ритмів. *Ритмікою називається повторюваність в часі комплексу процесів, які розвиваються в одному напрямку.* Ритмічність є основоположним фактором пространственовременної мінливості природних явищ. Ритми по-різному проявляються як в часі, так і в просторі, що ускладнює вивчення і, особливо, кількісні оцінки їх прояву. Можна прийняти наступну градацію природних процесів (на їхню просторово-часову мінливість) 1. Ритмічні (закономірні); 2. Випадкові. Ритмічні, в свою чергу, поділяються на: а) періодичні; б) циклічні. У періодичних процесів їх параметри (період, амплітуда і фаза) є строго фіксованими, і в цьому випадку розвиток здійснюється (з обов'язковою присутністю спрямованості) по «точній спіралі». Циклічні, або квазіперіодичні, процеси характеризуються тільки середніми статистичними параметрами (період, амплітуда і фаза змінюються), і їх розвиток йде по «бракованій спіралі», тобто повторення комплексу явищ спостерігається через рівні (періодичні) або змінні (циклічні) відрізки часу відповідно.

У природі події в своїх істотних рисах повторюються через деякий, не обов'язково строго рівномірний, проміжок часу, тобто розвиваються циклічно.

Н.В. Ловеліус (1979) вважає за доцільне виділяти такі ритми природних явищ: 1) ритми геологічної історії Землі, пов'язані головним чином з еволюцією літосфери і органічного світу; 2) ритми, що відображають зміни ландшафтно-географічних зон, атмосферних процесів і біосфери в цілому, що фіксуються в основному палеогеографічними методами; 3) ритми сучасних фізико-географічних процесів, що фіксуються біологічними індикаторами і

інструментальними спостереженнями в атмосфері, гідросфері, біосфері, літосфері та інших середовищах. На прикладі сучасних ритмів чітко простежуються і найбільш доказові зв'язку земних і космічних явищ.

Найбільший ритм розвитку кліматичної системи (мегациклів) триває близько 200 млн років. Він завершується корінний перебудовою земної кори і, відповідно, радикальними змінами клімату. Наступний, більш короткий, цикл (макроцикл) має тривалість 50 млн. років (перебудова природної зональності). На тривалі цикли розвитку накладаються цикли нижчих рангів. Зокрема, виділяється цикл, що охоплює десятки - перші сотні тисяч років (мезоцикл). Ще більш короткорітмічні зміни клімату пов'язані з коливаннями сонячної активності. Це цикл тривалістю 1800-1900 років (цикл Шнітнікова), 180-190 років; це наноцикли: 80-90 років (віковий), 30-35 років (цикл Брікнера), 22 роки (магнітний, або цикл Хейла), 11 років (сонячний, або цикл Швабе-Вольфа), а 50 також цикли менших порядків - 5 -6-річні, 3-4-річні, менше 2 років. Звертає на себе увагу ієрархія циклів, які вносять різний внесок в хід розвитку природних процесів, що значно ускладнює їх вивчення.

Значення ритміки надзвичайно великий для біосфери, так як в ній іде фіксація сонячної енергії рослинами, а також відбувається розвиток органічного світу і його еволюція.

Сонячна активність. Циклічність сонячної активності. Сукупність фізичних явищ, що відбуваються на Сонці, прийнято називати сонячною активністю. Зовні сонячна активність проявляється у виникненні в атмосфері Сонця характерних утворень: сонячних плям і факелів в фотосфері, флоккулов і спалахів в хромосфері, протуберанці в сонячній короні. Ці явища зазвичай взаємопов'язані, і області, де в сукупності вони відбуваються, називаються центрами сонячної активності. Безпосередній вплив на атмосферу Землі (і магнітосферу Землі) надає сонячне корпускулярне випромінювання (сонячний вітер) - потік сонячної плазми зі швидкістю 500-1000 км / с

Найбільш очевидним проявом сонячної активності є сонячні плями. Сонячні плями - це темні освіти, температура яких на 1500-2000 К нижче середньої температури поверхні Сонця. Плями народжуються в «королівських широтах» (10-300 широти по сторонам сонячного екватора). Їх розглядають як вихори з воронкоподібними розширеннями на вершині. Рух речовини відбувається знизу вгору, утворюючи висхідний вихор. Швидкість досягає величезних величин, і гази охолоджуються внаслідок їх швидкого розширення в міру наближення до вершини вихору. Плями - вершина, кінець вихору. Вихровим рухом заряджених електричних частинок викликається конвекційний струм, який супроводжується індукційними струмами в сусідніх провідниках.

Струм утворює магнітне поле. Таким чином, плями - колосальні магніти, уніполярні, біполярні, мультиполярні. В середньому діаметр плям дорівнює 37000 км. Плями, як правило, об'єднуються в групи. Групи сонячних плям, один раз виникнувши, не змінюють своїх координат і обертаються разом з Сонцем. Сонце обертається навколо своєї осі, через це вплив активної області на Землю повторюється з періодом приблизно 27 діб. Виникають так звані рекурентні обурення геомагнітного поля.

Відносні числа - числа Вольфа (W) - характеризують сонячну активність і визначаються для кожного дня спостережень за формулою $W = K(10g + F)$, де g - число спостережень груп і окремих плям в певний момент часу, F - повне число плям, підрахованих в цих групах і окремо, K - коефіцієнт, що залежить від спостерігача і інструменту спостереження.

Безперервний, постійно поповнюється тимчасовий ряд середньорічних чисел Вольфа існує з 1700 року, а середньомісячних - з 1749 року. Сонячним циклам дана нумерація. Першим вважається цикл від мінімуму 1755 р. до мінімуму 1766 р. У 2008 році спостерігався мінімум сонячної активності, який закінчив 23-й цикл, і з 2008 року почався 24-й 11-річний цикл активності Сонця. Роки, в які числа Вольфа мають максимальну або мінімальну величину, називають, відповідно, епохами максимуму або мінімуму 11-річного циклу сонячної активності. Інтервал часу від епохи мінімуму до епохи максимуму отримав назву гілки зростання, а від епохи максимуму до епохи наступного мінімуму - гілки спаду 11-річного циклу.

Вивчення зв'язку приросту деревних рослин із змінами геомагнітної і сонячної активності є частиною складної і великої проблеми сонячних впливів на біосферу. Наявність в мінливості приросту дерев сонячно обумовленої циклічності виявив А.Е. Дуглас. Він встановив наступні цикли в радіальному прирості обстежених їм дерев:

- 5-6 років - половина сонячного циклу,
- 10 - 13 років - перший сонячний цикл,
- 21 - 24 роки - подвійний сонячний цикл,
- 32 - 34 роки - потрійний сонячний цикл,
- 100 - 103 роки - тричі потрійний цикл.

Методи дендрокліматології. Дендрохронологія та лісове господарство.

Важливим першим кроком у дендрокліматології є вибір ділянки досліджень. На пробних площах, де спостерігається обмеження досту реконструкції опадів, тоді як у районах обмеження температури для росту дерева, можна використовувати кільця з дерева для відновлення температури.

Вибирають ділянку, де відсутнє візуальне пошкодження насадження пожежами, рекреацією, забрудненням тощо, тобто некліматичними процесами.

Другим кроком досліджень є відбір зразків (кернів) з живих дерев за допомогою бурава Преслера (рис. 6.2).



Рис. 6.2. Відбір кернів буравом Преслера

Найважливішим наступним кроком у дослідженнях дендрохронології є перехресне датування, коли встановлюється дата формування кожного річного кільця дерева. При цьому використовуються відносно широкі і вузькі кільця, які узгоджуються для всіх дерев вибірки. Деякі вибірки таких дерев не можуть бути здатовані. Коли закономірності мінливості росту кільця є синхронними і характерні для багатьох дерев, то впевненість у перехресному датуванні є високою. Фахівці стверджують, що перехресне датування може займати 90% часу всього періоду дендрохронологічних досліджень. У дендрокліматоології вимірюють шари ранньої та пізньої деревини, а також встановлюють загальну ширину річного кільця. При необхідності вимірюють стійки ізотопи вуглецю та вміст в кільцях дерев кисню. Увагу приділяють морозобійним кільцям, які пошкоджені морозом в період вегетації.

Після перевірки датування та вимірювання з деревно-кільцевих хронологічних серій вилучається віковий тренд. З віком радіальний приріст зменшується, тому віковий тренд, який не відображує кліматичний вплив і часто описується негативною експонентою, потребує вилучення. Після вилучення тренду, формується загальна деревно-кільцева хронологія, яка, як правило, складається з 20 та більше дерев.

Наступним кроком є встановлення зв'язків між радіальним приростом та кліматом з використанням погодних даних з найближчої до району досліджень метеостанції, або декількох метеостанцій, дані яких осереднено. Існують різні статистичні методи для кількісної оцінки даних співвідношення між кільцями дерев і кліматом.

Основні методи дендрокліматології включають кореляцію або аналіз функцій відгуку з визначенням значущості цих взаємозв'язків для кожного часового інтервалу. Наступним кроком є калібровка, тобто перевірка моделі на незалежних даних, або порівняння з реконструйованим кліматом з архівних даних. За допомогою комп'ютерних програм RESPONCE з пакету програм ITRDB, програми PRECON та інш. встановлюються взаємозв'язки між індексними деревнокільцевими хронологіями та кліматичними чинниками. Приклади. Ф. Г. Коліщук запропонував оригінальну методику для дослідження радіального приросту сосни в умовах Карпатських гір. Він виявив, що протягом останніх 200- 230 років різні види сосни (*Pinus mughus* Scop., *seabra* L.), які ростуть у високогір'ях та на між лісових верхових болотах (*P. Silvestris* L., *P. Mughus* Scop.) Українських Карпат, мають подібний хід приросту за товщиною, що може бути доказом кліматичної обумовленості динаміки приросту та однакової реакції цих видів сосни на зміни клімату. Індекси радіального приросту сосни мають позитивні зв'язки з температурою та зворотні з опадами в травні – серпні. Ф.Г. Коліщук також виявив, що динаміка приросту є синхронною з циклічністю сонячної активності. Тенденція до покращення росту сосни протягом 2 – 3 століть може вказувати на зниження зволоження та деяку континенталізацію клімату літнього сезону.

Дендрохронологія та лісове господарство

Принципи прогнозування, можливості прогнозів. Прогнозування приросту деревостанів є в даний час дуже важливим і актуальним завданням у багатьох областях знань, і перш за все - в лісовому господарстві, для вибору оптимальної стратегії і тактики господарської діяльності, для своєчасного виявлення і зменшення негативних наслідків антропогенного впливу.

Всі відомі методи прогнозування базуються на побудованій по ретроспективним даним моделі, яка потім екстраполюється в майбутнє.

За допомогою дендрохронології і дендрокліматології інформація про закономірності мінливості кліматичних умов може бути відновлена в деяких районах країни за останні тисячоліття і використана для розробки довгострокових і сверхдолгосрочний прогнозів.

Мінливість радіального приросту може бути індикатором переважання певних типів атмосферної циркуляції, показником зміни меж основних кліматичних районів в часі, періодичності цих змін, показником динаміки термічного і гідрологічного режиму різних кліматичних районів. Побудова тисячолітніх дендрошквал, можливо, дозволить відновити дані, що характеризують мінливість сонячної активності, за періоди, коли спостереження

за сонячною активністю ще не велися, визначити реперні дати різних фаз сонячної активності і передбачити з достатньою достовірністю періоди настання цих фаз. Як вважає М.С. Ейгенсон (1963), «без залучення даних про сонячну першопричину кліматичних змін, кліматологічний прогноз «по тенденціям» є, в кращому випадку, лише здогадка і гола емпірична екстраполяція, яка завжди може привести дослідника до помилки ». *Кліматологічний прогноз, на думку М.С. Ейгенсон, повинен складатися з двох частин. Перша - прогноз сонячної активності. Друга, власне кліматологічна частина геліокліматического прогнозу, повинна ґрунтуватися на тристоронній зв'язку: сонячна активність - загальна циркуляція атмосфери - елементи клімату* (Ейгенсон, 1963, с. 171). Великий інтерес представляють також середньо- і короткострокові прогнози, особливо якщо вони досить прості і при цьому відповідають заданій точності. П.А.Феклістов і В.М. Барзут (1986) запропонували спосіб короткострокового прогнозування (на 1 рік), заснований на відомій залежності між приростами поточного і попереднього року. Встановивши рівняння зв'язку, вони розрахували по ним приріст сосни для двох насаджень (сосняк чорничник і сосняк брусничник). В середньому за багаторічний період помилка прогнозування склала 9-11% і виявилася лише трохи вище, ніж при застосуванні більш складних способів (наприклад, множинної регресії) за той же період часу. Для середньострокового прогнозування найбільш вдалим, на наш погляд, є 30-річний період.

Індикація антропогенних впливів на лісові екосистеми дендрохронологічними методами. Обладнання для дендрохронологічних досліджень. Банки дендрохронологічних даних.

Антропогенний вплив на природу - це пряме або опосередковане вплив людини і результатів його діяльності, що викликає зміна природного середовища і природних ландшафтів. Стрімкий розвиток людського суспільства, зростання населення планети, науково-технічний прогрес привели до посилення антропогенного впливу на природне середовище, лісові екосистеми і окремі компоненти. Всі антропогенні зміни в природі можна розділити на дві категорії: навмисні і попутні. Прикладом навмисних перетворень може служити освоєння земель під сільськогосподарські культури або багаторічні насадження, спорудження водосховищ, будівництво населених пунктів, промислових підприємств, шляхів сполучення. Попутні зміни - це зміни газового складу атмосфери, забруднення навколишнього середовища, збіднення видового складу тваринного світу, розвиток ерозійних процесів ґрунту і ін. Велика частина попутних змін у природі неминуча. Завдання полягає в тому, щоб звести їх до

мінімуму або знайти рішення, повністю усуває деякі види негативних процесів. Поділ *антропогенних змін на дві категорії - навмисні і попутні* - по цілеспрямованості змінює фактора. Безумовно, це тільки один аспект можливої класифікації досліджуваного явища. Існує цілий ряд різних визначальних ознак, які можна використовувати для ідентифікації антропогенних змін в природі. Зокрема, в антропогенних впливах на ліс доцільно розрізняти постійно діючі фактори і епізодичні або періодичні. До перших можна віднести забруднення атмосфери, зміна водопостачання насаджень (створення водосховищ або осушення), рекреаційні навантаження. До других - лісові пожежі, спалахи ентомошкідників, лісогосподарська діяльність. Питання встановлення ступеня і характеру впливу на ліс антропогенних факторів можуть бути вирішені дендрохронологічeskими методами. Приріст окремих дерев і деревостанів в цілому – найбільш універсальна і узагальнююча оцінка їх стану. При оцінці впливу антропогенних факторів на лісові екосистеми можна обійтися без застосування цієї ознаки для аналізу ситуації. Поряд з вивченням змін середнього приросту за досліджуваній інтервал часу доцільно також вивчити режим його коливань, що дає цінну інформацію про процес функціонування деревостанів в зоні впливу антропогенних чинників.

До теперішнього часу дослідження дендрохронології охоплюють широке коло проблем, пов'язаних з антропогенним впливом на лісові екосистеми. Важливим лісоутворюючим фактором, що визначає стан і динаміку лісів, є пожежі. У переважній кількості випадків, особливо в приміських лісах, причини виникнення пожеж так чи інакше пов'язані з участю людини. *Дендрохронологічний аналіз календарних років минулих пожеж дозволяє визначити терміни, повторюваність, поширення пожеж.* На основі використання радіального приросту в якості інтегрального показника мінливості метеоумов проводиться реконструкція і прогнозування найбільш пожежонебезпечних сезонів.

Під впливом високих рекреаційних навантажень погіршується загальний стан лісів, знижуються їх захисні, санітарно-гігієнічні та естетичні функції. Штучне ущільнення ґрунту, руйнування лісової підстилки, витоптування трав'яного покриву, пошкодження підліска і підросту порушують водно-повітряний і температурний режим ґрунту, викликають ослаблення і деградацію насаджень.

На сильно ущільнених ґрунтах коріння дерев не можуть розвиватися нормально, зменшується кількість всмоктуючих корінців, погіршуються умови харчування, що призводить до падіння радіального приросту, пригнічення росту і усихання дерев. *Дендрохронологічний аналіз річного приросту насаджень*

дозволяє встановити час настання і тривалість рекреаційної дигресии, ступінь навантаження і її критичні межі, дозволяє намітити відповідні заходи, стабілізуючі стан рекреаційних лісів і прогнозувати їх майбутній розвиток. Рекреаційні навантаження є одним з основних чинників, які ослаблюють стійкість насаджень.

Зазвичай в ослаблених насадженнях відбуваються спалахи розмноження ентомовредітелів. Дендрохронологічні методи успішно застосовуються для оцінки кліматичних умов виникнення, повторюваності і інтенсивності спалахів масового розмноження ентомошкідників. Всё більш широке застосування знаходять методи дендрохронологічного аналізу при оцінці впливу на ліс господарських заходів: рубок догляду, вибіркового рубок, лесоосушувальних меліорацій, внесення добрив і т.д. Досліджувалися законність і якість проведених відводів; результати впливу рубок догляду різної інтенсивності на подальший розвиток деревостанів, тривалість цього впливу, зміна інтенсивності приросту і структури річного кільця в комплексі з сприятливими і несприятливими кліматичними умовами тощо.

Ще з 1960-х років дендрохронологічні методи з успіхом застосовуються для з'ясування ступеня загазованості територій і обліку збитку, що наноситься лісової рослинності шкідливими промисловими викидами. В умовах забруднення природного середовища відбувається падіння продуктивності лісових насаджень, яке в лісівничих плані виражається в двох взаємопов'язаних процесах: зниження приросту і збільшення отпада в деревостанах. При подальшому впливі забруднювача посилюється розпад деревостану. Всі ці процеси тісно пов'язані з хімічним складом промислових викидів, біологічними характеристиками насаджень і погодними умовами. Стрімке зростання в останні десятиліття чисельності автотранспортних засобів і масштабів забруднення атмосфери викидами автотранспорту послужив стимулятором активного вивчення загострилася проблеми, в т.ч. Дендрохронологічними методами. Отримано важливі результати по дальності поширення впливу викидів автотранспорту на радіальний приріст деревостанів, зміни ступеня впливу в залежності від інтенсивності автотранспортного потоку, тривалості впливу; дані про накопичення важких металів в деревині.

Дендроіндикація техногенних впливів на ліс. Забруднюючі речовини: джерела, основні види, ГДК для деревних рослин Особливе місце за масштабами і небезпеки впливу на лісові екосистеми займає техногенне забруднення навколишнього середовища, різко виражене в приміській, зеленій зоні промислових центрів.

Негативний вплив на рослини надають практично всі викиди, проте найбільшої уваги заслуговують так звані пріоритетні речовини: оксиди сірки, що утворюються при згорянні викопного палива і при виплавці металів; дрібні частинки важких металів; сполуки фтору, що утворюються при виробництві алюмінію і фосфатів; фотохімічні забруднення; вуглеводні та окис вуглецю, що містяться у вихлопних газах автотранспорту. *Антропогенні джерела надходження забруднюючих атмосферу речовин можуть бути перераховані в наступному порядку: а) стаціонарні джерела забруднення (спалювання палива, нафтопереробні заводи, чорна металургія, кольорова металургія, хімічна промисловість, целюлозно-паперова промисловість і т.д.); б) рухливі джерела забруднення.* В результаті роботи підприємств перерахованих галузей промисловості в атмосферу викидається велика кількість різних газоподібних і твердих забруднюючих речовин. До рухомих джерел забруднення відносяться всі види транспорту, що працюють за рахунок спалювання рідкого викопного палива, що містить вуглеводень (бензин, дизельне паливо). Головні залишають вихлопних газів автомобілів - це CO (до 80%), CO₂ і водяна пара; концентрація вуглеводнів (частково згорілих або незгорілих) і оксидів азоту трохи нижче. З вуглеводнів, що безпосередньо впливають на рослини, основним є етилен (C₂H₄). Двигунами, що працюють на бензині, викидається також свинець. Він додається в бензин для збільшення вихідної потужності стораемого палива, разом з вихлопними газами він викидається вздовж доріг у вигляді твердих частинок, а також може поширюватися в атмосфері у вигляді свинцевого аерозолі. Основний фізичної характеристикою домішок атмосфери є концентрація-маса (мг) речовини в одиниці об'єму (куб. М) повітря при нормальних умовах. Концентрація домішок визначає фізичне, хімічне та інші види впливу речовин на людину і навколишнє середовище і служить основним параметром при нормуванні вмісту домішок в атмосфері. ГДК - це максимальна концентрація домішок в атмосфері, віднесена до певного часу осереднення, яка при періодичному впливі або протягом усього життя людини не надає на нього, і на навколишнє середовище в цілому, шкідливого впливу (включаючи віддалені наслідки). Прийняті два нормативи санітарних ГДК (для людини): максимально разова (ГДК-С_{мр}) і середньодобова (ГДК-С_с). ГДК-С_{мр} - основна характеристика небезпеки шкідливої речовини. Вона встановлюється для попередження рефлекторних реакцій у людини (відчуття запаху, світлової чутливості і ін.) при короткочасному впливі атмосферних домішок. ГДК-С_с встановлена для попередження общетоксичних, канцерогенних, мутагенних та інших впливів речовин на організм людини. Значення критичних навантажень на лісові екосистеми техногенних атмосферних забруднювачів (при перевищенні

яких виявляються їх негативні впливи на екосистеми) продовжують розроблятися. Існують тимчасові нормативи ГДК атмосферних забруднювачів для основних лісоутворюючих деревних порід (ГДК-Л), затверджені Суміші газів (діоксид сірки + оксиди азоту, діоксид сірки + оксиди азоту + фтористий водень) на 15-30% більше токсичні для деревних порід, ніж окремі вихідні компоненти.

Методи вивчення антропогенних впливів на приріст дерев. Застосовувані методи оцінки втрат приросту дерев в умовах забрудненого природного середовища умовно можна розділити на три групи: 1. Метод контрольних деревостанів, заснований на порівнянні абсолютних або відносних величин приросту пошкоджених і контрольних деревостанів. 2. Метод контрольних дерев, заснований на порівнянні приросту дерев різних класів стану в межах досліджуваного деревостану або їх сукупності. 3. Метод, заснований на аналізі дендрохронологічних рядів в залежності від природних і антропогенних чинників (автокореляція, гармонійний аналіз і т.п.). Найбільш важким питанням для всіх трьох методів є визначення «норми», яка використовується в якості точки відліку при оцінці антропогенних змін приросту дерев. Більшість вживаних в даний час методик відноситься до першої групи. *Точність оцінки при їх використанні носить суб'єктивний характер і в значній мірі залежить від вдалого підбору контрольного деревостану (норми).* В останні роки методика підбору контрольних деревостанів і сам метод оцінки були модифіковані, що дозволило значно знизити суб'єктивізм і підвищити точність самих оцінок. Цей метод успішно застосовується в умовах досить сильного локального забруднення природного середовища з явно вираженим градієнтом рівня забруднення. Однак при ураженні лісів в межах великого району підбір контрольних деревостанів стає важкою справою, а часто і взагалі неможливим.

Судова експертиза. Завдяки використанню сучасного обладнання ряд досліджень (визначення часу рубки стовбура дерева, визначення сухостійних дерева на момент рубки, підтвердження приналежності пня і стовбура організму одного дерева) в даний час є стандартну експертну задачу. Задяки дендрохронологічним методам можна визначити дату написання картини на дубових досках.

Обладнання для дендрохронологічних досліджень. Банки дендрохронологічних даних

Прилад ЛІНТАБ (LINTAB) в даний час є найбільш вдалою сучасною модифікацією машини, принципи якої були придумані шведським лісоводом Еклундом. Він був розроблений Ф. Рінном в німецькій фірмі РІННТЕХ

(RINNTech) в 1991 році і до теперішнього часу продовжує вдосконалюватися. ЛІНТАБ може працювати з будь-яким ПК, що використовують операційні системи Windows 98/2000 / XP / Vista / Windows 7 і мають вільний порт USB або серійний інтерфейс. Для запису вимірюваних параметрів використовується програмне забезпечення TSAP-Win. Базова програма TSAP-Win Basic придатна тільки для запису вимірюваних даних. Інші функції вона виконувати не може. Для додаткового аналізу інформації рекомендується використовувати TSAP-Win Professional (програму для професійного застосування) або TSAP-Win Scientific (програму для наукового застосування).

Міжнародний банк даних річних колець (ITRDB). За допомогою накопичення знань про вимірність річних колець дендрохронологи почали обговорювати питання створення банків дендрохронологічної інформації. Ця ідея була розповсюджена в житті американського професора Г. Фритсом (H. Fritts) в 1974 році. На даний момент Міжнародний банк даних щорічних колець (Міжнародний банк даних кільцевих дерев) у Всемирному центрі даних для палеокліматології (Всесвітній центр даних палеокліматології) (Боулдер, штат Колорадо, США) містить первинні дані щодо кожного окремого дерева та загальні дані для окремих пробних площей. Дані можуть включати первинні дані ширини річного кільця, щільність деревини або інші види дендрохронологічної інформації. Усі серії повинні бути перекрестно даровані, допускається наявність плаваючих серій, якщо є датовані між собою індивідуальні хронології, які, однак, за якою-небудь причиною не датуються в календарному часі. Не існує обмежень за мінімальний час серії або числу образців, виконаних для побудови обобщеної хронології. Дані можуть бути представлені в будь-якому з доступних форматів. Найкращим форматом є формат, розроблений у лабораторії дослідження річних колець в Аризонському університеті («Формат Тусона»). Для більшості зразків банків надається інформація відповідно до форми, наведеної нижче, доступної для заповнення в Інтернеті в режимі «on-line».

Форма включає в себе наступні дані: інформація про ділянку лісу:

1. Назва ділянки
2. Імена дослідників
3. Видова приналежність учнівних дерев'яв
4. Географічні координати (широта, довжина, висота над рівнем моря)
5. Країна
6. Район країни

Інформація про дендрохронологічні дані

1. Тип вимірювань

2. Перший метод згладжування
3. Другий метод згладжування
4. Мета відбору зразків
5. Місце зберігання образців та їх доступність
6. Публікації
7. Додаткова інформація

У банку храняться наступні види дендрохронологічної інформації:

1. Часові ряди щільності ранньої деревини
2. Часові ряди ширини шару ранньої деревини
3. Часові ряди щільності пізньої деревини
4. Часові ряди відсотку пізньої деревини в річному кільці
5. Часові ряди ширини шару пізньої деревини
6. Часові ряди максимальної щільності
7. Часові ряди мінімальної щільності
8. Временные ряды ширины річного кільця
9. Часові ряди загальної щільності річного кільця

До стандартних дендрошкал, що подаються для включення в базу даних, висуваються такі вимоги: 1. Опис ділянки, з якого відібрано зразки для досліджень, за відповідною формою (дод. Б); 2. Середні значення ширини річних кілець (ш. Р к.) В мм, з округленням до десятих або сотих часток в табличній формі (табл. Б2: дод. Б), розраховані не менше ніж по 10 зразків (керна, спиляти) однієї деревної породи, однієї ділянки, одного типу лісу і типу лісорослинних умов (ТЛУ), близького віку; 3. Середні значення замірів пізньої деревини (п.д.) в мм, з округленням до десятих або сотих часток в табличній формі (табл. 2: Форма подання матеріалів); 4. Довжина дендрохронологічного ряду (середніх значень) повинна становити не менше 100 років; 5. Відносні індекси (%) загальної ш. м к., в табличній формі, розраховані за стандартною формулою $I = (i_f / i_s) \times 100\%$, де i_f - фактичні (середні) значення ш.г.к., в мм; i_s - норма приросту в залежності від віку (віковий тренд), розрахована будь-яким коректним способом; 6. Відносні індекси пізньої деревини (в%) в табличній формі (табл. Б2, дод. Б); 7. У тому випадку, якщо деревостани різновікових, а індекси розраховувалися для кожного зразка окремо, з подальшим осередненням індексів, то в БДШ представляються середні таблиці індексів ш.г.к., з відповідним поясненням; 8. За виконання всіх вимог і достовірність матеріалів несуть відповідальність автори експонованих матеріалів. 9. Відомості про автора (авторів) за відповідною формою: Форма подання матеріалів.

6.3. Семінар

1. Вибрати тему і підготувати презентацію на 10 хвилин

- 1.Дендроархеологія
- 2.Дендрокліматологія
- 3.Дендроекологія
- 4.Дендрогіоморфологія
- 5.Дендрогляциологія
- 6.Дендропирологія
- 7.Дендроентомологія

2. Використовуючи матеріал лекції, практичної та додаткові матеріали, що вивчені під час самостійної роботи необхідно підготуватись до семінару за такими питаннями:

1. Які є способи зачистки поверхні керна?
2. Навіщо роблять контрастування зразків?
3. Які існують прийоми попереднього датування та маркування річних кілець?
4. Які основні засади перехресного датування?
5. Яка точність виміру ширини річних кілець?
6. Що таке «фальшиве кільце» і «кільце, що випало»?
7. Визначення реперного року.

6.4. Практична складова

Вимірювання ширини річних кілець та перехресне датування

1 Підготовка зразків до вимірювання. Подальша робота з зразками деревини проводиться в лабораторних умовах. Ряд дослідників пропонує для кращого виявлення структури річних кілець перед виміром їх ширини змочувати поверхню зразків різними речовинами або розчинами. Як «змочувач» найчастіше застосовується вода, також можна використовувати гліцерин, водний розчин гліцерину (Ловеліус, 1979), пропонують у гладко зачищену поверхню зразків втирати дрібний порошок безводного окису кальцію або крейду. Можна також використовувати олію. Для м'яколистяних порід (береза, осика), що викликають великі труднощі при виділенні та вимірі річних кілець, пропонується використовувати такі розчини: розчин марганцівки, соди, параамінофенолу.

Здобувачам пропонується можливість на наявних зразках (сосна, дуб, ясен, береза) простежити ефективність виявлення структури річних кілець різними

речовинами: вода, крейда, олія, розчин марганцівки різної концентрації. Відібрані з різних дерев зразки (керни) деревини, якщо вони протягом 1-2 діб не аналізуються, втрачають натуральну вологість і коротшають у середньому на 3-5 % початкової довжини. Такі зразки перед виміром розмочуються у воді. Тоді вони стають довшими за зразки, що мають натуральну вологість, на 1-2 %. Зміна довжини керна в таких межах не впливає на точність результатів вимірів. Вологі зразки мають яскравіше забарвлення. Їхня поверхня краще зачищається. Зачищення кернів проводиться гострим лезом у напрямку від кори до центру зразка. При обробці кернів слід бути дуже уважним і обережним: не застосовувати занадто великого зусилля при тиску на лезо, не заглиблювати лезо занадто сильно в деревину, щоб уникнути зламу леза, порізу пальців, зламу дуже крихких кернів деревини. Зручно використовувати канцелярський ніж-лезо. Поверхню кернів зачищають поперек волокон деревини.

Якщо для вимірювання використовуються спиля дерев, вони зачищаються гостро відточеною стамескою від кори до центру спила за вибраним напрямом вимірювань або шліфуються на високошвидкісному деревообробному верстаті. Якість очищення гарантує виявлення надзвичайно вузьких кілець, які часто мають всього один або два ряди клітин (рис. 6.3).



Рис. 6.3. Керни дуба звичайного та сосни звичайної

2. Датування. Як зазначено вище, формування річного кільця складається з двох етапів: формування ранньої (весінньої) і пізньої (літньої) деревини. Границя між шарами ранньої та пізньої деревини у хвойних легко визначається візуально. У більшості випадків перехід ранньої деревини в пізню досить різко виділяється більш темним коричневим кольором пізньої деревини. Вимірювання, крім загальної ширини річного кільця, окремо ширини шару пізньої деревини, дає важливу додаткову інформацію щодо радіального приросту дерев.

Датування та вимірювання річних кілець (шарів) деревини ускладнюють «фальшиві кільця»: розшарування, розмитість шару пізньої деревини; смужки більш щільної деревини, яка є фальшивим кільцем, смужками підгнилої, потемнілої деревини. Це явище пов'язано з несприятливими умовами росту дерев (метеорологічними умовами, антропогенним впливом).

Виявлення «фальшивих кілець» вимагає певних навичок, навіть інколи можливе тільки за допомогою спилів дерев або еталонних дендрошкар. У будь-якому випадку ускладнень при датуванні і вимірювання ширини річних кілець слід звернутись до викладача.

Для датування та вимірювання ширини годичних колець використовується вимірювальна лупа або мікроскоп (бінокулярна лупа) МБС-1, МБС-9 та ін., оснащений окулярмікрометричною шкалою. Можна застосовувати різні методи датування річних кілець: візуальний, побудова скелетних графіків, побудова напівлогарифмічних діаграм. Найбільш простим і зручним візуальним методом датування є: огляд змінності колець під збільшеним приладом (Шиятов, 1973). Виявляють зразки, в яких є фальшиві та кільця, які випали, і визначають їх розташування. На зачищеній поверхні спила або керну кільце кожного десятиліття (1990, 1980, 1970 та ін.) маркується однією крапкою, кожного п'ятидесятиріччя (1950) – двома, кожного сторіччя (2000) – трьома. Крапки зручніше ставити в більш широкій частині річного кільця: у сосні це світла рання деревина, у дуба – темна, щільна пізня деревина. Для маркування можна використовувати хімічний карандаш, капілярну ручку, шарикову ручку тощо. Якщо відомо рік і місяць взяття зразка (рік формування зовнішнього кільця), то датування решти кілець проводиться за допомогою зворотнього відрахунку (рис. 6.4).

При проведенні перехресного датування екстремальні величини приросту, а також кільця, що містять патологічні структури (морозобійні, світлі та хибні кільця та ін) використовуються як характерні роки (pointer years), що дозволяють перевіряти правильність перехресного датування. Найбільш значущими є вузькі кільця, які сформувалися в так названі реперні роки, тобто в несприятливі за кліматичними умовами роки у більшості дерев, які зростали одночасно і в однорідному за кліматичними умовами районі.

За наявності фальшивих кілець та тих, що випали, синхронність у мінливості приросту між деякими відрізками, що порівнюються, хронологій порушується, а положення реперних кілець зміщується на один рік і більше.

Фальшиве кільце або флуктуація щільності деревини відрізняється від істинного кільця відсутністю кордону між шарами пізньої та ранньої деревини, а також тим, що воно зазвичай простежується не по всьому колу річного шару приросту, тому з дерева завжди краще брати два і більше кернів. Таке кільце досить легко встановлюється при розгляді зовнішніх меж потемніння при 20 кратному збільшенні (рис. 6.4).

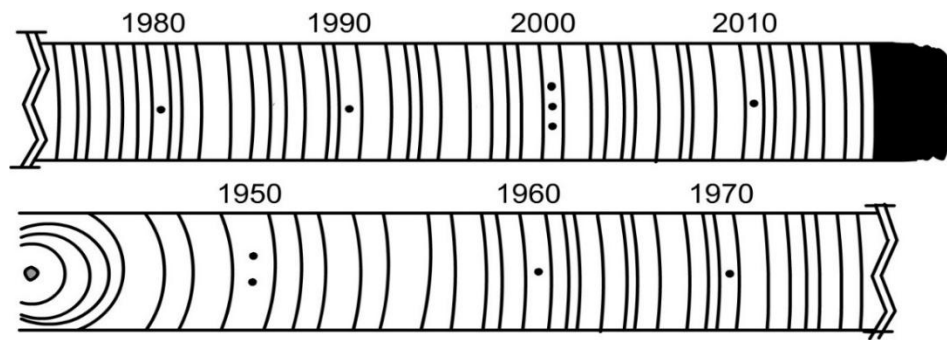


Рис. 6.4. Схема маркування річних кілець на керні, зовнішнє кільце сформувалося у 2017 році.

У тому випадку, коли візуальне датування ускладнено внаслідок незначної мінливості або великої кількості фальшивих кілець та тих, які випали, будують і порівнюють графіки ширини річних кілець (рис. 6.5 та рис.6.6).

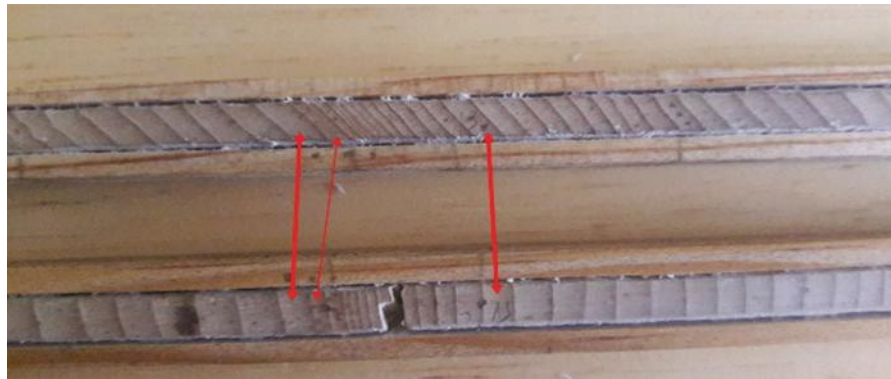


Рис. 6.5. Перехресне датування двох зразків *Tsuga demoza* в Бутані (Джерело: Yeshey Khandu, 2016)

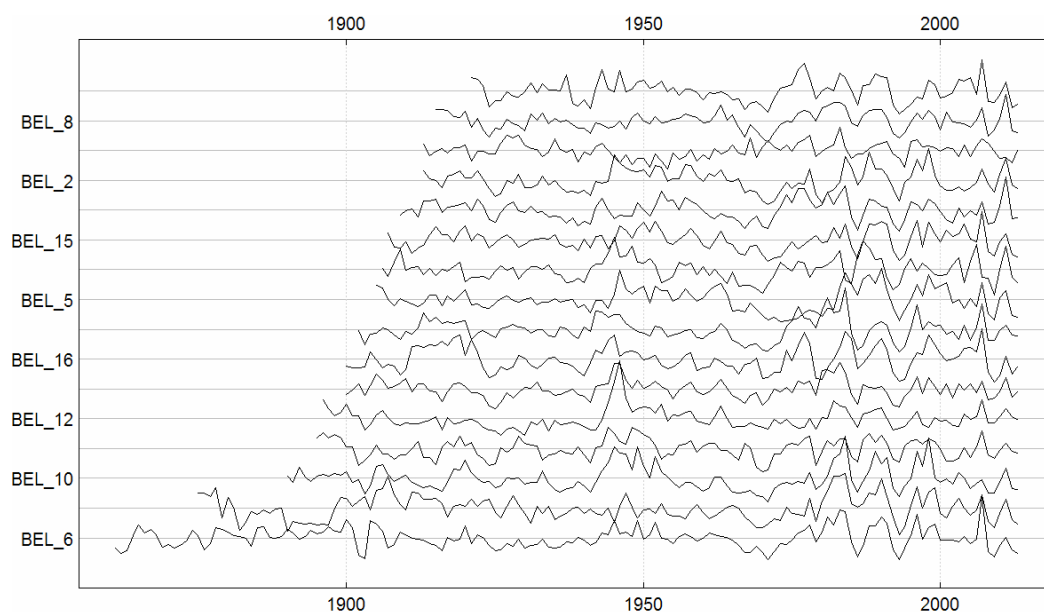


Рис. 6.6. Порівняння 12 деревно-кільцевих хронологій сосни звичайної

У особливо несприятливі для життєдіяльності дерев роки відбувається значне зниження діяльності камбію на підставі стволів. У таких випадках говорять про відсутність кільця в певному місці стовбура – це «кільце, що випало». Особливо це виражено у дерев, що ростуть в екстремальних місцях проживання. Наявність фальшивих кілець, що випали, може бути виявлено за допомогою програми TSAPWin, яка дозволяє розглядати на екрані криві зміни показників приросту у великій кількості дерев, зрушувати криві на різне число років, вставляти та видаляти кільця. Якість датування можна оцінити за допомогою Cofecha (Holmes, 1995), пакету dplR (Bunn, 2008).

3. Вимірювання шарів ранньої та пізньої деревини.

Ширина річних кілець може бути виміряна під бінокулярним мікроскопом МБС. Один великий поділ шкали дорівнює 1 мм, один маленький поділ – 0,1 мм. Вимірювання проводиться з точністю до 0,05 мм. Важливо точно визначити межі річного кільця певного року і ранньої та пізньої деревини. Вимірювання слід проводити від периферії до центру зразка, а починати з останнього (зовнішнього) кільця. Якщо зразки відбиралися протягом вегетаційного періоду (під час формування річного кільця), то останнє кільце вимірюється, але в подальші розрахунки не включається. Ширина річних кілець вимірюється перпендикулярно до річних шарів.

Вікової бурав не завжди потрапляє в серцевину дерева, а проходить на деякій відстані від неї. На таких зразках можна використовувати «косі» річні кільця біля центру зразка, обов'язково вимірюючи їх перпендикулярно до річних шарів. Дані вимірювань округляються до десятих часток міліметра і заносяться до таблиці.

Роботи з датування та вимірювання ширини річних кілець можуть проводитись на сучасному вимірювальному обладнанні, сумісному з персональним комп'ютером, з відповідним пакетом прикладних програм – вимірювальний комплекс LINTAB-6 з програмою TsapWin (Rinn, 2011) виробництва німецької фірми Rinntech (рис. 6.7).



Рис. 6.7. Прилад Lintab для вимірювання шарів деревини.

Досліджуваний дендрохронологічний зразок розміщують на робочому столі приладу. Пористий матеріал, яким покритий робочий стіл, забезпечує стаціонарне положення зразка на поверхні, перешкоджає його ковзанню та випадковим зсувам. Дослідник спостерігає поверхню зразка бінокулярний мікроскоп. Шкала, нанесена на один із окулярів мікроскопа, дозволяє вести вимірювання зразка. Вимірювання виконуються наступним чином: обертанням рукоятки робочий стіл та розташований на ньому зразок зміщуються щодо очей спостерігача. Щоразу, коли візирна лінія окуляра перетинає межу річного кільця, дослідник натискає клавішу миші, і прилад фіксує ширину річного кільця. Графік мінливості річних кілець відображається на моніторі комп'ютера. Існують також програми, які дозволяють вимірювати ширину річних кілець на цифрових зображеннях (фотографіях) кернів (Windendro, Coorecorder CDendro та ін.).

4. Практичне виконання.

Мета роботи: ознайомитись з різними способами виявлення структури річних кілець, освоїти методику підготовки зразків деревини до аналізу, датування та вимірювання ширини річних кілець. Освоїти практичні навички вимірювання загальної ширини річних кілець та пізньої деревини на поперечному зрізі датованих зразків (спилів, кернів) деревини (сосни, дуба).

Обладнання: бурові зразки дерев хвойних та листяних порід, леза, мікроскоп, зразки деревини, мікроскоп, комп'ютер канцелярські ножі, ємність для води, вимірювальні лупи, мікроскопи МБС-1, МБС-9, ЛІНТАБ.

Завдання: Виміряти ширину шарів деревини використовуючи доступні прилади

1. Побудувати графіки
2. Заповнити таблицю

Таблиця 7.1. Форма таблиці для запису дендрохронологічних даних (ширини річних кілець і т.д.)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1910										
1920										
1930										
1940										
1950										
1960										
1970										
1980										
1990										
2000										
2010										

6.5. Рекомендована література

Основна література

1. Ворон В.П., Коваль І.М., Сидоренко С.Г., Мельник Є.Є., Ткач О.М., Борисенко В.Г., Тимощук І.В., Бологов О.Ю. Пірогенна трансформація лісів України: монографія. Харків, ТОВ Планет-Прінт, 2021. 286 с.
2. Коваль І. М. Кліматичний сигнал у регіональній деревно-кільцевій хронології дуба звичайного (*Quercus robur* L.) Лівобережного Лісостепу. Лісівництво і агролісомеліорація. 2020. № 137. С. 72-81.
3. Коваль І. М. Реакція радіального приросту *Quercus robur* L. на зміни клімату Поліссі та Лісостепу. Наукові праці Лісівничої академії наук України. 2020. № 20. С. 64-73.
4. Коваль І. М., Ворон В. П., Сидоренко С. Г. Депонування вуглецю в пірогенно пошкоджених соснових молодняках Лівобережного Лісостепу. Лісівництво і агролісомеліорація. 2018. № 133. С.78-84.
5. Коваль І.М. Біоіндикація стану насаджень ясена звичайного Західного Лісостепу на прикладі деревостану Ярунського лісництва ДП «Новоград-Волинське ДЛМГ. Науковий вісник НЛТУ України. 2016. № 26 (8). С. 81 - 87.
6. Коваль І.М. Дендрохронологічні дослідження в Україні. Посібник українського хлібороба. Науково-практичний збірник. 2016. Том. 2, с. 282-284.
7. Коваль І.М. Дендрохронологічні засади оцінювання соснових і дубових деревостанів України: монографія / Х.: Мачулін, 2023, 252 с.
8. Коваль І.М. Кліматичний сигнал у регіональній деревно-кільцевій хронології *Pinus sylvestris* L. у Лівобережному Лісостепу. Наукові Праці Лісівничої академії наук України. 2021. № 22 С. 188 -198.
9. Коваль І.М., Бологов О.В., Нусбаум С. А., Юзвинський Г. А. Радіальний приріст дуба звичайного та ясена звичайного як індикатор стану лісових екосистем в умовах Новоград-Волинського фізико-географічного району. Лісівництво і агролісомеліорація. 2015. № 126. С. 202-211.
10. Коваль І.М., Борисова В.Л. Реакція на зміни клімату радіального приросту ясена звичайного в насадженнях Лівобережного Лісостепу. Науковий вісник НЛТУ України. 2019. №29 (2). С. 53 - 57.
11. Коваль І.М., Воронин В.О. Реакція радіального приросту *Pinus sylvestris* L. на зміну клімату в насадженнях Лівобережного Лісостепу. Лісівництво та агролісомеліорація. 2019. № 135. С. 140-148.

12. Коваль І.М., Костяшкін Д.С. Вплив клімату та рекреації на формування шарів річної деревини ранньої та пізньої форм *Quercus Robur* L. у зеленій зоні м. Харкова. Науковий вісник НЛТУ України. 2015. № 25 (6). С. 52-58.
13. Кошеляєва Я.В., Коваль І.М. Радіальний приріст берези повислої, ураженої бактеріальною водяною, в зеленій зоні м. Харкова. Лісівництво і агролісомеліорація. 2017. № 130. С. 208-2014.
14. Brichta J., Šimunek V., Bílek L., Vacek Z., Gallo J., Drozdowski S., Bravo-Fernández J.A., Mason B.; Roig Gomez S., Hájek V. Vacek S., Štícha V., Brabec P., & Fuchs Z. Effects of Climate Change on Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Growth across Europe: Decrease of Tree-Ring Fluctuation and Amplification of Climate Stress. *Forests*. 2024. Vol. 15. 91
15. Dendrochronology and Climate
https://bookdown.org/AndrewA/_book1/laboratory-4-dendrochronology-and-climate.html
16. Dukpa, D., Tenzin, K., Krusic, P. J., Khandu, Y., & Wangchuk, S. (2017). Dendrochronology manual. Ugyen Wangchuck Institute for Conservation and Environmental Research. https://www.uwice.gov.bt/admin_uwice/publications/publication_files/Books-Manuals/2017/Dendro%20manual.pdf.
17. Dukpa, D., Tenzin, K., Krusic, P. J., Khandu, Y., & Wangchuk, S. (2017). Dendrochronology manual. Ugyen Wangchuck Institute for Conservation and Environmental Research. https://www.uwice.gov.bt/admin_uwice/publications/publication_files/Books-Manuals/2017/Dendro%20manual.pdf.
18. Koval I., Maksymenko N. (2020): The radial increment of European ash (*Fraxinus excelsior* L.) under climate change, Ukraine. *J. For. Sci.*, 66: 288-298.
19. Koval I. M., Sydorenko S.V., Sydorenko S. H., Maksymenko Nadiya V., Cherkashyna Nadiya I. (2020). Differences in response of radial growth of pedunculate oak (*Quercus Robur* L.) to climate change in shelterbelt and forest stand in the forest-steppe zone of Ukraine. *Forestry ideas*, vol. 26 (1): 224-235.
20. Koval Iryna, Sydorenko Serhiy (2019). The influence of surface fire on radial and height growth of *Pinus sylvestris* L. in forest-steppe in Ukraine. *Folia Forestalia Polonica*. vol. 61 (2): 123-134.
21. Kowalski T., Bilanski, P., & Holdenrieder, O. Virulence of *Hymenoscyphus albidus* and *H. fraxineus* on *Fraxinus excelsior* and *F. pennsylvanica*. *Plos One*, 2015. Vol. 10 (10). P. 1 - 15.

Допоміжна література

1. Ворон В. П., Коваль І. М., Сидоренко С. Г., Мельник Є. Є., Бологов О. Ю. Рекомендації щодо ведення лісового господарства в умовах антропогенного впливу. Х.: УкрНДЛГА, 2017. 62 с.
2. Коваль І.М., Воронин В.О. Дендрокліматологія як складова частина дендрохронології. Людина та довкілля. Проблеми неоекології. 2019. № 32. С. 85-94.
3. Dendrochronology: What Tree Rings Tell Us About Past and Present <https://www.environmentalscience.org/dendrochronology-tree-rings-tell-us>.
4. Fritts, H.C. (1976) Tree Rings and Climate. Academic Press, London, 567 p.
5. Koval I., Meshkova V., Maksymenko N., Roibu C., and Obolonik I. Assessment of climate change by dendrochronological methods in Polissya. IV International Scientific Congress “Society of Ambient Intelligence – 2021” (ISCSAI 2021). Kryvyi Rih, Ukraine, April 12-16, 2021 Volume 100. Доступ: <https://www.shs-conferences.org/articles/shsconf/abs/2021/11/contents/contents.html>
https://www.shs-conferences.org/articles/shsconf/pdf/2021/11/shsconf_iscsai2021_05005.pdf f(Web of Science).
6. Koval Iryna. Influence of climate change on the radial growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the Forest-Steppe, Ukraine. ENVIRO 2021. 25th International scientific conference. June 3-4, 2021. On behalf of the Faculty of Horticulture and Landscape Engineering, Slovak University of Agriculture in Nitra, Slovakia and Faculty of Environmental Engineering and Land Surveying, University of Agriculture in Krakow, Poland.
7. Koval I. M., Bräuning A., Melnik E. E., Voronin V. O. Dendroclimatological research of scots pine in stand of the left-bank forests-steppe of Ukraine //Людина і довкілля. Проблеми неоекології. № 3-4 (28), 2017. С. 66-73.
8. Loyd, A.H., Sullivan, P.F., Bunn, A.G. (2017). Integrating dendroecology with other disciplines improves understanding of upper and latitudinal treelines. In: Amoroso, M., Daniels, L., Baker, P., Camarero, J. (eds) Dendroecology. Ecological Studies, vol 231. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-61669-8_6.

РОЗДІЛ 7.

ЛАНДШАФТНО-ЕКОЛОГІЧНЕ ПЛАНУВАННЯ, ЯК УЗАГАЛЬНЮЮЧЕ ПІДГРУНТЯ РАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

7.1. Загальні положення

Теоретичні концепції взаємодії людини з природою в локальних і глобальних масштабах. Ландшафтне планування як обов'язковий механізм регулювання природокористування. Регіональні особливості ЛП та фактори, що впливають на їх виникнення. Світові практики ландшафтного планування. ЛП у системі територіального устрою в Україні. Адміністративні й самоврядні рівні здійснення процедури ЛП в Україні. Базові положення ландшафтно-екологічного планування (ЛЕП): об'єкт, предмет. Принципи використання ЛЕП в умовах ринкових відносин. Система ЛЕП для територій різного функціонального призначення. Етапи і моделі ЛЕП. Еволюція моделей 7 ландшафтно-екологічного планування. Основні шляхи використання повного алгоритму ЛЕП або його елементів для оптимізації природокористування.

7.2. Теоретична складова

Вивчення теорії з розділу структуроване за темами, у яких слід звернути увагу на основну інформацію, наведену нижче.

Аналіз характеристик ландшафтного планування (ЛП) в різних країнах і регіонах світу дозволив зробити висновок, що при загальній екологічній спрямованості, вирізняється три різних регіональних погляди на застосування ЛП на практиці, які завдячують різним типам традиції землекористування: європейський, північноамериканський і азійський.

Найбільш досконала теорія ЛП в європейських країнах, де використовується як загальний механізм регулювання природокористування, має кілька ієрархічних рівнів та обов'язково контролюється з боку громадськості. Незважаючи на методологічну свободу реалізації процедури ЛП в різних європейських країнах та реальну можливість використання на практиці лише його окремих положень, класичною вважається німецька «школа» ЛП. Північноамериканський підхід в основі своїй не відрізняється від європейського, але зосереджується на більш прикладному аспекті використання, тобто алгоритм проведення ЛП розробляється індивідуально в кожному конкретному випадку для досягнення поставленої мети. В азійському підході домінує естетика ландшафту, поєднання традиційних і запозичених прийомів ЛП для

облаштування територій локального рівня організації довкілля.

Аналіз еволюції ЛП в часі показує, що хоча найдавнішими його елементами є система Фен-Шуй, практика «культури землі» та «покращення землі» в Англії, Прусії та Баварії XVI-XIX ст., ЛП закріплене як обов'язковий планувальний інструмент в Німеччині лише у XX ст. і тоді ж взяте за зразок для застосування в інших країнах. В Україні також реалізовано ряд ініціативних робіт з ЛП (Л. Г. Руденко та ін., 2014, Л. В. Пархуць, 2013, В. П. Палієнко, 2012), але обмеження правового, організаційного і наукового характеру поки що не сприяють широкомасштабному його впровадженню. Воно стало б можливим або прямо через адміністративно-командні важелі, як у традиційній системі районного планування, або опосередковано через пільги й преференції, які надаються за певних умов, або через «м'яке» керування засобами інвайронментального менеджменту. Оскільки перші два способи є способами керування «зверху», екологічна спрямованість ЛП за таких умов виглядає на вітчизняних теренах лише примарною перспективою.

Найбільш реалістичним є третій спосіб, оскільки він орієнтується на ініціативу «знизу» – від самого природокористувача. Його сутність витікає з поняття “Environmental Management” відповідно до ДСТУ ISO 14001, яке неточно перекладається у вітчизняній літературі й нормативних документах як екологічний менеджмент (хоча останній існує у світовій нормативно-правовій базі і європейській практиці, на яку ми орієнтуємося, як самостійне поняття для означення способів управління біотичними системами).

Окрім того, за умови прийняття відповідних нормативних документів та організації обов'язкового використання ЛП в Україні, є наукова невідповідність, що полягає у різних тлумаченнях терміну «ландшафт» і ототожненні ЛП з територіальним плануванням, у якому екологічна складова майже нівелюється.

Тож для вирішення цієї проблеми запропоновано виділення окремого конструктивно-географічного напрямку – ландшафтно-екологічного планування (ЛЕП), що при загальній методичній близькості до ЛП має ряд принципових відмінностей:

- суб'єкт-суб'єктний підхід до визначення структури і процедури ЛЕП залежно від типу території ЛРОД;
- розуміння поняття «ландшафт» у його чіткому визначенні вітчизняними вченими;
- можливість і доцільність проведення ЛЕП за ініціативою «знизу», тобто від землекористувача.

При проведенні ЛЕП значна роль відведена методології моделювання географічних інформаційних систем (ГІС), яке являє собою комп'ютерну

систему, що забезпечує збір, обробку, відображення та поширення просторових даних для їх ефективного використання при вирішенні прикладних екологічних завдань, пов'язаних з моделюванням, прогнозуванням і управлінням довкіллям. В роботі ГІС використана на тест-об'єктах експериментального полігону для:

- аналізу просторово-статистичних даних, що характеризують процеси функціонування територій ЛРОД,
- створення дво- та тривимірних моделей поверхонь територій ЛРОД для опрацювання розподілу певних видимих характеристик (кривизна рельєфу, ухил поверхні, експозиція схилів, склад рослинного покриву тощо);
- візуалізації вірогідних образів явищ, які в принципі не можуть бути видимими (вміст гумусу у ґрунтах, кислотність, ємність катіонного обміну, гранулометричний склад тощо), що здійснена на інвентаризаційному етапі ЛЕП;
- аналізу протікання окремих еколого-геохімічних процесів у різних компонентах ландшафту на оціночному етапі ЛЕП;
- обґрунтування прийняття оптимальних управлінських рішень на завершальних етапах ЛЕП на основі суміщення комплексу тематичних багатoshарових карт.

Таким чином, спільне використання традиційних конструктивно-географічних методів дослідження ландшафтів спільно з комплексом інноваційних методичних підходів розширюють можливості використання ЛЕП у практиці природокористування.

Ландшафтно-екологічне планування, яке нами пропонується як альтернатива ЛП – це система заходів, спрямованих на екологічно збалансовану організацію природокористування на територіях різного локального рівня організації довкілля (ЛРОД). Об'єктами ЛЕП можуть виступати території різного ЛРОД – урболандшафти, агроландшафти, лісові і водні господарства, об'єкти ПЗФ тощо. Спільною методологічною основою дослідження вказаних територій є загальна теорія ЛЕП, але існують певні відмінності, зумовлені специфікою функціонування кожного об'єкту.

Процедуру ЛЕП умовно можна розділити на блоки, від успішності виконання кожного з яких залежить результат всієї роботи. У той же час, кожен з блоків передбачає необхідність розв'язання низки завдань, складність і обсяг яких може змінюватись в залежності від вибору об'єкту ЛЕП (табл. 7.1).

Під час інвентаризаційного етапу збирається вся існуюча статистична і картографічна інформація про територію дослідження, на основі чого створюється низка картографічних творів, що ілюструють природні умови території. Фінальною картою є ландшафтна, на яку потім наносяться всі джерела забруднення і ретельно характеризуються.

Таблиця 7.1. Етапи ландшафтно-екологічного планування

Етап ЛЕП	Суть дослідження	Складові дослідження	Виконана робота і методичний арсенал			
1	2	3	4			
Інвентаризаційний	Дослідження природних умов	Геолого - геоморфологічних	}	Робота з картографічними джерелами		Комплект картографічних творів з пояснювальними записками до них
		Клімато - гідрологічних		Дешифрування аерокосмічних знімків		
		Ґрунтового покриву		Робота з фондовими матеріалами		
		Рослинного покриву		Натурні дослідження – методи польових досліджень		
		Ландшафтної диференціації (ПТК і ПАК)		Узагальнення і синтез , оцінка мозаїчності ландшафту		
				ГІС - моделювання		
	Визначення джерел забруднення	Територіальна «прив’язка» джерел забруднення	Нанесення на базову ландшафтну карту дислокації джерел забруднення		Карта «Інвентаризація джерел забруднення»	
		Визначення режиму впливу на довкілля	Робота з фондовими матеріалами підприємств		Комплект статистичних даних у вигляді таблиць, діаграм і графіків	
			Натурні дослідження щодо транспортних і господарсько-побутових джерел			
		Вивчення обсягів впливу на довкілля	Викидів в атмосферу і скидів у водні об’єкти			
			Утворення відходів			
			Ступеню розораності і еродованості			
			Рекреаційного навантаження і рекреаційної дигресії			
			Лісозаготівлі і лісовідновлення			
Аналізу конфліктів	Виявлення внутрішніх конфліктів природокористування	Складання матриці існування конфлікту		}	Розрахунок інтенсивності конфліктів природокористування	
		Складання матриці суті конфлікту				
		Складання матриці інтенсивності конфлікту			Районування території за інтенсивністю конфліктів	Карта конфліктів природокористування
	Виявлення зовнішніх конфліктів природокористування	Складання матриці існування конфлікту		}		
		Складання матриці суті конфлікту				
		Складання матриці суті конфлікту				

1	2	3	4	
Оціночний	Оцінка стійкості ландшафтів	Потенціалу самоочищення атмосфери	} Визначений показник стійкості ландшафту за методикою В. В. Барановського	
		Біотичного потенціалу		
		Стійкості водних об'єктів		
		Стійкості ґрунтів		
		Чутливості ландшафтів	Складання матриці чутливості природних компонентів	
			Розрахунок інтегрального показника чутливості для кожного ландшафту	
	Оцінка екологічних проблем	Оцінка екологічного стану ґрунтів	Відбір зразків за визначеною мережею точок	Графічний аналіз результатів (діаграми, графіки) Просторова інтерпретація результатів (картографічні моделі з інтерполяцією показника)
			Лабораторний аналіз зразків з урахуванням переліку виявлених у викидах речовин	
			Статистична обробка отриманих даних з оцінкою співвідношення з фоном тата з ГДК	
		Оцінка екологічного стану вод	Відбір зразків на тестових ділянках в різних частинах водойми з урахуванням переліку виявлених у скидах і викидах речовин	Виділення ділянок русла з різним екологічним станом водойми на основі кластерного аналізу
			Лабораторний аналіз	
			Статистична обробка, у т.ч. порівняння з нормативами	Просторова інтерпретація результатів (картографічні моделі з інтерполяцією показника)
		Оцінка екологічного стану рослинності	Відбір зразків за визначеною мережею точок	Графічний аналіз результатів (діаграми, графіки)
			Лабораторний аналіз зразків з урахуванням переліку виявлених у викидах речовин	
			Статистична обробка отриманих даних з оцінкою співвідношення з ГДК	

Продовження таблиці 7.1

1	2	3	4	
		Оцінка екологічного стану повітря	Проведення замірів вмісту забруднюючих речовин у повітрі з урахуванням переліку виявлених у викидах речовин	Графічний аналіз результатів (діаграми, графіки)
			Статистична обробка отриманих даних з оцінкою співвідношення з ГДК	Просторова інтерпретація результатів (картографічні моделі з інтерполяцією показника)
Узагальнення і прогнозу	узагальнення і прогноз змін згідно цільової концепції використання території	Районування території за ландшафтно-екологічним індексом	Розрахунок ландшафтно-екологічного індексу	Просторова інтерпретація результатів (картографічні моделі з інтерполяцією показника)
		Прогноз розвитку екологічної ситуації згідно цільової концепції використання території	Виявлення пріоритетних напрямів згідно цільової концепції використання території	На основі аналізу динамічних рядів складання прогнозів з використанням фрактального аналізу
		Узагальнення можливостей щодо надання екосистемних послуг (ЕП) об'єктом дослідження	Оцінка базових потреб у ЕП	На основі удосконаленої моделі DPSIR оцінка можливості надання екосистемних послуг для формування управлінського рішення (УР)
			Структура, процеси, функції ландшафту	
			Оцінка природного капіталу для ЕП	
Оптимізаційний	розробка оптимізаційних заходів для екологізації управління	Розробка адресних заходів з оптимізації природокористування	Синтез створених картографічних творів з виділенням територій, для яких з одним набором оптимізаційних заходів	Створення інтегральної карти заходів з оптимізації природокористування на певній території та пояснювальної записки до неї
		Розробка рекомендацій для інвайронментального менеджменту	Комплекс заходів для інвайронментального менеджменту на основі цільової концепції використання території та принципів рівноправності природної і антропогенної складової в природокористуванні	
		Розробка рекомендацій з надання екосистемних послуг	Банк екосистемних послуг	

В окремий етап винесено аналіз конфліктів природокористування. Як зазначав Л. Г. Руденко (2014) «усунення територіальних конфліктів – найважливіше завдання оптимізації природокористування».

Основним підходом до систематизації територіальних особливостей конфліктів природокористування є їх розгляд на суб'єкт-суб'єктній основі у межах природних чи природно-антропогенних ландшафтів, для чого доцільно використовувати матричну форму (приклад у табл. 7.2). Одна її вісь являє собою види природокористування, які «шкодять» природі, другу складають ландшафти, що «страждають», в клітинах матриці доцільно показувати властивості конфліктів (інтенсивність, сутність, термін впливу, динаміка). Загальний вигляд матриці конфліктів для кожної досліджуваної території розробляється окремо, але обов'язковим є, на відміну від ЛП, ландшафтний підхід. Заповнення матриць - доволі трудомісткий процес, що забезпечує дослідника великим обсягом даних. Їх статистичний аналіз дає кількісні показники, що знаходять свою просторову інтерпретацію у картографічній моделі, де за допомогою площинних знаків відображаються зони різної інтенсивності конфліктів.

Таблиця 7.2. Фрагмент матриці конфлікту

Об'єкти Ланд- шафти	Сільськогосподарські							Шляхи сполучення			
	Пасо- вища	Фер ми	Дачні ділянки	Сади	Горо ди	Рілля	..	Ґрун тові	З твердим покриттям	Заліз ниці	..
Селітебні, у т.ч.: <i>C1</i>											
<i>C2</i>											
...											
Лісогосподарські, у т.ч. <i>Л1</i>											
<i>Л2</i>											
...											
Рекреаційні, у т.ч. <i>P1</i>											
<i>P2</i>											
...											

Третій етап - оцінка природного потенціалу і екологічних проблем території. Природний потенціал територій різного ЛРОД визначається у кожному конкретному випадку окремо. Так, для заповідних територій, потенціал полягає у багатстві біологічного різноманіття і можливості його зростання, для урболандшафтів – потенціал атмосфери до самоочищення, стійкість водних об'єктів та ґрунтів до забруднення, біотичний потенціал.

Оцінка екологічних проблем не залежить від типу та властивостей території. Це спричинено неможливістю адаптувати нормативну базу до

конкретних ландшафтів, бо вона б стала надмірно громіздкою. Другою причиною, вагомішою, можливо, навіть за першу є неосвіченість екологів-практиків у питаннях ландшафтознавства. До того, було б бажано екологічним дослідженням охопити не лише окремі компоненти, а й природні комплекси в цілому – лише тоді, насправді, можна вести мову про ландшафтно-екологічну оцінку території. Саме ці недоліки дозволяє здолати ЛЕП (у нашому баченні), для якого принциповою є оцінка екологічних проблем виключно на ландшафтній основі протягом всіх етапів дослідження. Спочатку, на етапі інвентаризації, дослідником зібраний матеріал щодо джерел забруднення, який дає підґрунтя для висновків щодо появи тих чи інших екологічних проблем, пов'язаних з ними. Далі, аналіз конфліктів природокористування дозволяє виділити ландшафти з високим рівнем конфліктів і, як наслідок – складною екологічною ситуацією спричиненою саме ними. Третьою – ключовою – складовою є проведення польового дослідження екологічного стану ландшафтів, що потрапили до виділених зон впливу джерел конфліктів. Виконується воно шляхом відбору зразків природних компонентів (грунти, рослинність, вода, повітря), які за попередніми даними зазнають впливу джерел конфліктів. Залежно від площі і характеру впливу геохімічне обстеження проводиться або на репрезентативних тестових ділянках, або шляхом закладення ландшафтно-геохімічного профілю (трансекти), або суцільною зйомкою з відбором зразків за мережею точок з рівномірним кроком. Мінімальний спектр хімічних елементів, вміст яких визначається у зразках залежить від результатів попередніх етапів ЛЕП. Так, встановлена структура викидів від основних джерел забруднення і перелік виявлених в ній речовин може стати тим мінімумом, який необхідно «шукати» у відібраних зразках.

Для окреслення суті екологічних проблем проводиться аналіз лабораторних даних, тобто порівняння їх з ГДК чи фоновими показниками. На їх основі запропоновано (Н. В. Максименко, 2016) обчислити ландшафтно-екологічний індекс (ЛЕІ), який враховує як інтенсивність забруднення ландшафту, так і його чутливість до природних і антропогенних змін. Погоджуючись з Л. Г. Руденко зі співавторами (2013), що оптимальним методом оцінки чутливості ландшафту є експертний, зазначимо, що, на наш погляд, визначення цього показника лише як «низька», «середня» та «висока», дещо звужує його можливості у моделюванні ландшафтів. Тому ми пропонуємо оцінювати чутливість ландшафту від 0 до 1, де 0 – найнижча чутливість, а 1 – найвища.

Для кожного ландшафту (залежно від рівня генералізації) розраховується чутливість у вигляді матриці (для кожного природного компонента в межах

кожної ділянки (фація, урочище)). Отримана матриця чутливості дозволяє визначити інтегральний коефіцієнт чутливості кожного ландшафту, який у вигляді числового індексу λ_i використовується далі для розрахунку комплексного ландшафтно-екологічного індексу (ЛЕІ):

$$K_{le} = \lambda_i \left(\sum_{i=1}^n \frac{C_{ig}}{C_{idg}} + \sum_{i=1}^n \frac{C_{ir}}{C_{idr}} + \sum_{i=1}^n \frac{C_{iv}}{C_{idv}} \right) \quad (7.1)$$

де: K_{le} – комплексний ландшафтно-екологічний індекс;

λ_i – інтегральний коефіцієнт чутливості даного ландшафту;

C_{ig} – фактичний вміст у ґрунті j -ї речовини;

C_{idg} – ГДК у ґрунті i -ї речовини;

C_{ir} – фактичний вміст у рослинності i -ї речовини;

C_{idr} – ГДК у рослинності i -ї речовини;

C_{iv} – фактичний вміст у воді i -ї речовини;

C_{idv} – ГДК у воді i -ї речовини;

n – кількість контрольованих речовин (показників).

Результати розрахунків доцільно подати у вигляді картографічної моделі. Для підтвердження висновку і апробації запропонованої моделі, проведено розрахунки для ділянки басейну р. Сіверський Донець (Рис. 7.1а)

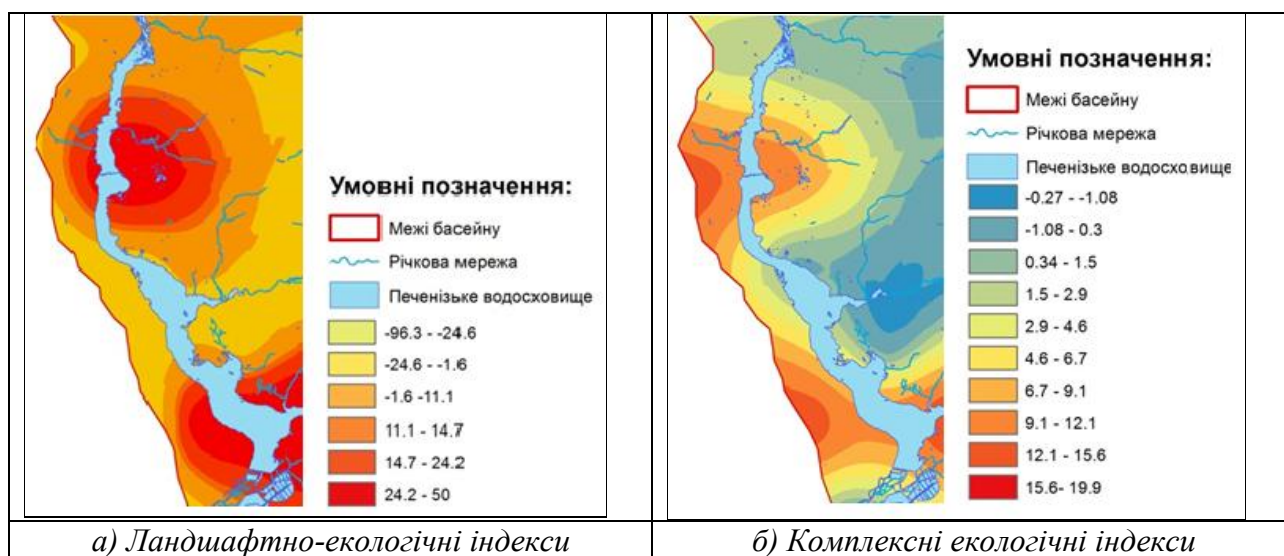


Рис. 7.1. Порівняння екологічних індексів на ділянці басейну р. Сіверський Донець

Вірогідність методики підтверджена порівнянням з картографічною моделлю на основі комплексного екологічного індексу (КЕІ) (Гриб Й. В., 2001), розрахованого за тими ж даними (Рис. 7.1б). Порівняння показало, що:

- КЕІ дозволяє оцінити лише ступінь відхилення екологічного стану території від допустимого;

- ЛЕІ, окрім оцінки рівня забрудненості території дає уявлення про реальну екологічну ситуацію, оскільки враховує здатність ландшафту йому протистояти. Так, найменші значення ЛЕІ в межах вододілу і лесової тераси свідчать про його здатність протистояти антропогенному навантаженню, що існує на теперішній час, а високий ЛЕІ заплави дає підґрунтя для необхідності обмеження подальшого антропогенного впливу на неї.

Таким чином, при подальшому ЛЕП на конкретній території, коли слід враховувати як забрудненість території, так і ступінь її спротиву навантаженню, доцільно використовувати картографічну модель на основі ЛЕІ.

Етап узагальнення і прогнозу змін згідно цільової концепції використання території (тобто вимог суб'єкту).

Цільову концепцію використання території рекомендується розробляти на основі аналізу соціально-економічних проблем, ресурсної оцінки території та сформульованих цілей використання окремих природних компонентів. Результатом має стати карта, яка дасть змогу:

- уточнити напрямки розвитку території та визначити її «точки росту»;
- окреслити ділянки з найбільшим рівнем конфліктів природокористування та визначити напрями їх зниження чи ліквідації;
- виділити території, в яких необхідно обмежити природокористування для збереження чи відновлення біологічного та ландшафтного різноманіття.

На основі аналізу часових рядів спостереження необхідно зробити прогноз екологічних змін за умови трьох варіантів розвитку ситуації:

- зниження антропогенного навантаження;
- підвищення тиску на довкілля;
- збереження стабільності природокористування на території.

Відносно отриманих результатів в залежності від цільової концепції використання території необхідно зробити комплексне узагальнення стосовно можливості здійснення тих чи інших кроків у напрямі змін умов природокористування. В кожному конкретному випадку перелік змін визначається окремо.

Головним завданням фінального етапу ЛЕП є розробка напрямів оптимізації природокористування в межах досліджуваної території з метою створення умов для екологізації управління природокористуванням.

Апробація методики, здійснена для **агроландшафтів, урболандшафтів, лісових і водних господарств, об'єктів ПЗФ**, показала особливості здійснення ЛЕП на територіях різного ЛРОД.

Завдяки особливостям природи та історичного розвитку нашої країни на більшості її території сформувався **агроландшафт**, основу якого складають

сільськогосподарські угіддя (оранка, луки, пасовища, сіножаті тощо) і деревостани, зокрема лісосмуги та інші захисні насадження. У якості об'єкту ЛЕП територій ЛРОД з аграрним спрямуванням домінуючих процесів функціонування виступає, як правило, агрофірма (АФ), або будь-який комплекс господарств з аграрною домінантою в просторовій структурі. Апробація методики здійснена на території АФ Коробочкине, що розташована в Чугуївському районі Харківської області. В методичному сенсі ЛЕП агроландшафтів здійснене за типовою періодизацією, але специфіка їх експлуатації зумовила потребу більшу увагу приділити рельєфу, створивши на основі цифрової моделі рельєфу (Рис. 7.2) серії тематичних карт найважливіших морфометричних показників: гіпсометричної карти, карти крутизни і експозицій схилів, а на їх основі і карт напрямків поверхневого стоку, ерозійної небезпеки, геохімічної міграції елементів, стійкості ландшафтів. Оскільки найважливішим природним компонентом агровиробництва є ґрунти, до карти ґрунтів нами додано карти гранулометричного складу, вмісту гумусу, кислотності, ємності катіонного обміну, що містяться в роботі. До особливостей ЛЕП в агроландшафтах належить також майже повна відсутність стаціонарних джерел забруднення, але саме функціонування агроландшафтів спричиняє появу конфліктів природокористування. Тому результуюча карта другого і третього етапів ЛЕП містить межі антропогенних ландшафтів, природні та антропогенні джерела конфліктів та зони можливих конфліктів природокористування (Рис. 7.2).

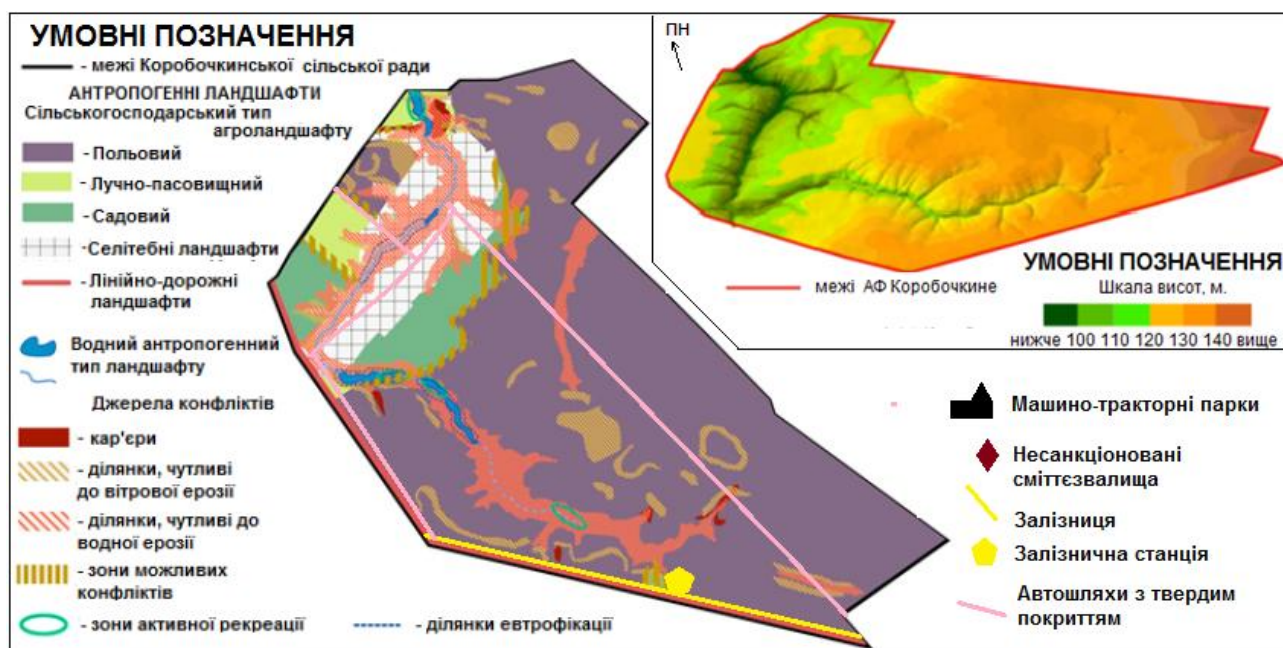


Рис. 7.2. Конфлікти природокористування у антропогенних ландшафтах АФ Коробочкине

Карта конфліктів є основою для реалізації наступного етапу – оцінка природного потенціалу і екологічних проблем, але вона в агроландшафтах повинна доповнюватись геохімічним обстеженням території, під час якого на тестових ділянках відібрано зразки ґрунтів і сільськогосподарської продукції для визначення вмісту в них шкідливих для людини речовин та порівняння з нормативними показниками. В агроландшафтах суцільна геохімічна зйомка, не обов'язкова, оскільки внесення добрив, гербіцидів і пестицидів здійснюється в однакових обсягах у межах цілих полів або городів.

На етапі узагальнення і прогнозу змін згідно цільової концепції використання території доцільно відмовитися від типової системи вибору цілей та адаптувати її до обмежень, що задає екологічно збалансоване агровиробництво.

Головною метою оптимізації природокористування в агроландшафтах на теперішній час є попередження їх деградації, яка полягає в спрощенні структури і погіршенні природних властивостей системи, що негативно позначається на вразливих компонентах - ґрунтах, біоті, поверхневих і ґрунтових водах, та викликає зниження продуктивності агроєкосистем. Перелік рекомендованих заходів відображене на комплексній рекомендаційній карті.

Урболандшафт є найскладнішою системою. Її суб'єктом є соціально-економічна система міста - ділянка території з суттєво зміненим індивідуалізованим, тому важко досліджуваним міським ландшафтом. Оптимізація урболандшафту потребує застосування механізму ЛЕП як на етапі будівництва нових, так і при оптимізації просторової структури вже існуючих міст. Місто має найбільшу концентрацію землекористувань різних типів на невеликій площі, що ускладнює створення картографічних творів, у т. ч. карти конфліктів, цілей природокористування, оптимізаційних заходів. Специфічною рисою збирання базової інформації для ЛЕП урболандшафтів є практично повна відсутність карт генетичних характеристик компонентів довкілля масштабу, що дозволив би відобразити специфіку даної території та характерні особливості її просторової структури. Це зумовлює необхідність проведення великого обсягу натурних досліджень. Результатом періоду є ландшафтна карта, що відображає ПАК різного таксономічного рангу.

Модельною територією для проведення ЛЕП урболандшафтів обрана територія Шевченківського району м. Харків. Безумовно, природні компоненти урболандшафту зазнали значних перетворень у процесі експлуатації території людиною, але для адекватної оцінки ступеню змін, на інвентаризаційному етапі надано характеристику у вигляді картосхем геоморфологічних умов, генетичних типів ґрунтів, природних типів рослинного покриву та природних ландшафтів, а

на польових дослідженнях уточнені межі сучасних урболандшафтів різного ієрархічного рівня і створена основна карта ЛЕП – карта ПТК і ПАК (Рис. 7.3).

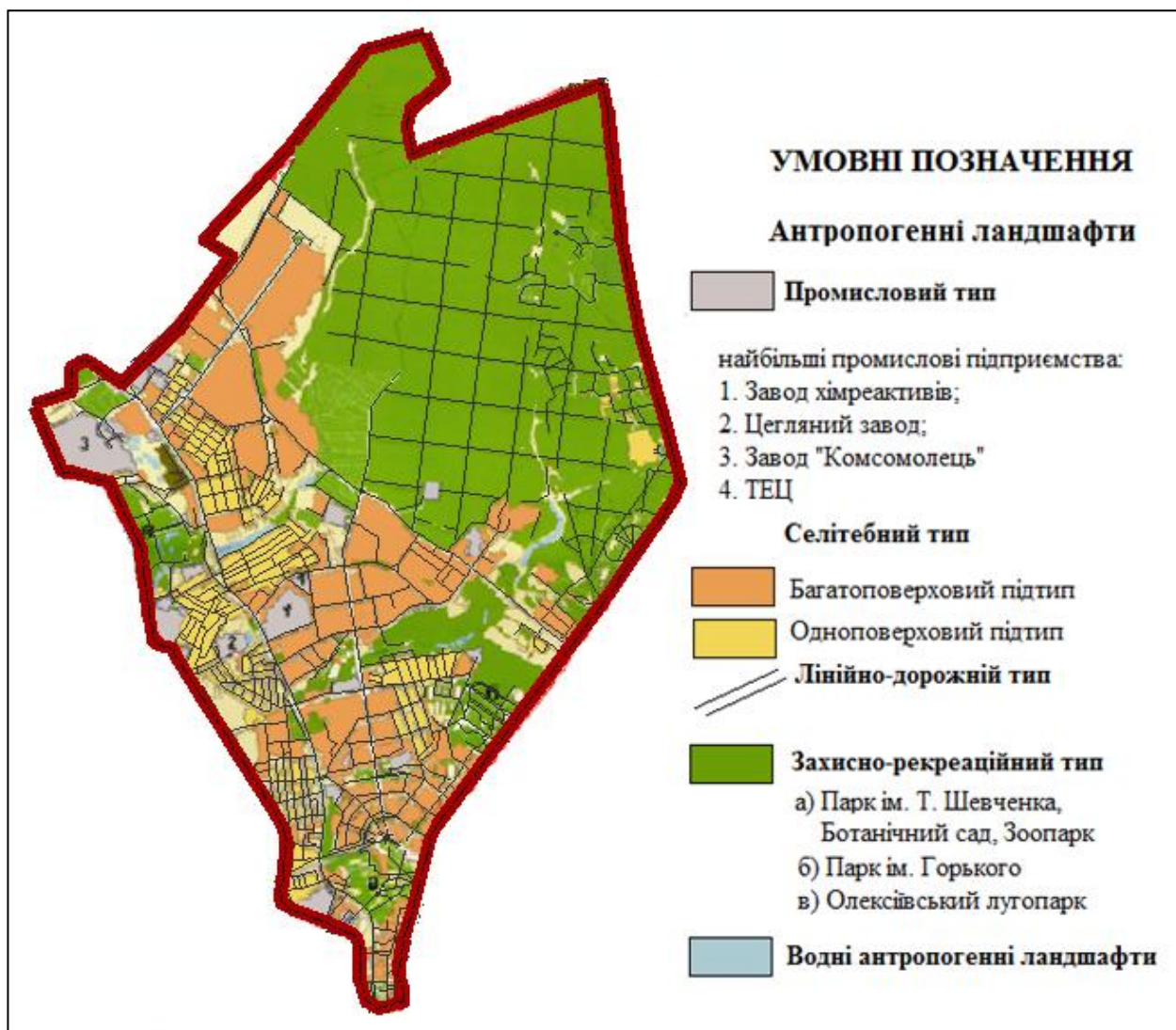


Рис. 7.3. Антропогенні ландшафти Шевченківського району м. Харків (схема)

На її основі розроблено матриці конфліктів і як наслідок – узагальнена карта конфліктів природокористування (Рис. 7.4). На оціночному етапі, визначено потенційну стійкість урболандшафтів, наприклад співвідношенням ступеню урбанізованості території із характером її озеленення (Рис. 7.5). Здійснення ландшафтно-геохімічної оцінки екологічного стану міст, не передбачає суворої формалізації набору показників щодо оцінки ґрунтів. Передусім вона залежить від ландшафтно-геохімічних умов, від специфіки промислового виробництва, транспортного навантаження тощо.

Ґрунти, як віддзеркалення загального стану екосистеми, вивчено шляхом суцільної зйомки, на основі чого створено картографічні моделі урболандшафту за певними характеристиками (рис. 7.6а-в).

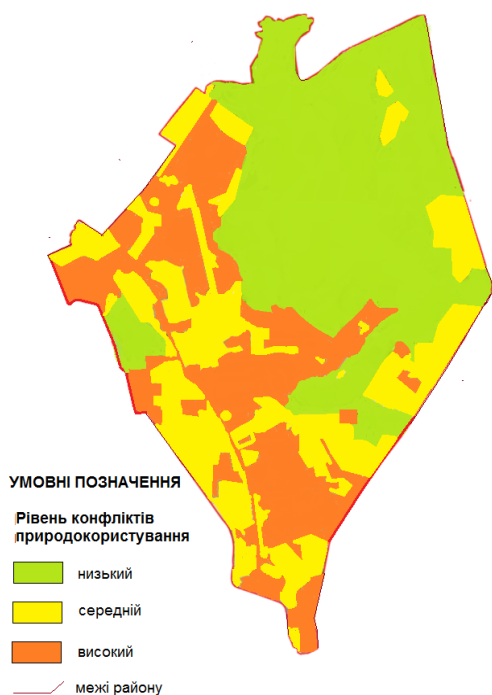


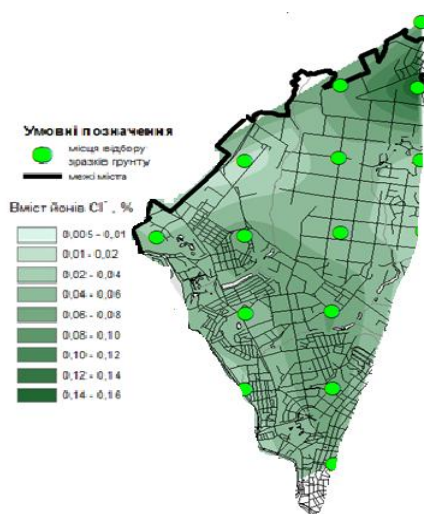
Рис. 7.4. Рівень конфліктів природокористування(схема)



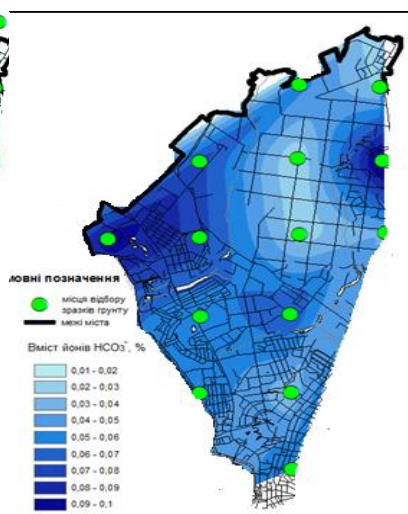
Рис. 7.5. Співвідношення озеленення і забудови (схема)



а) рН (водна)



б) вміст хлорид-іонів



в) вміст гідрокарбонат-іонів

Рис 7.6. Просторовий розподіл деяких показників у поверхневому шарі ґрунтів Шевченківського району м. Харків

Щільність забудови і заселеність території спонукають до необхідності приділяти увагу в процесі ЛЕП екологічному стану атмосферного повітря. Оскільки це наймінливіший компонент ландшафту, карту скласти не має сенсу, а хімічний аналіз повітря краще візуалізувати у вигляді діаграм і графіків.

Особливістю ЛЕП в урболандшафтах є також те, що вивченню підлягають водно-антропогенні, захисно-рекреаційні і садово-паркові ландшафти, які мають іншу цільову концепцію використання.

Наступний етап ЛЕП – прогнозування розвитку урболандшафтів. Визначення прогнозних тенденцій змін ландшафтів міста рекомендується базувати, в першу чергу, на структурно-динамічній концепції геосистем, суттю якої є модифікація структури ландшафту (спрощення чи ускладнення фаціального «малюнку») як в результаті внутрішнього саморозвитку, так і під впливом сукупності природних та антропогенних чинників.

Розробка заходів, спрямованих на покращення екологічної ситуації, є завершальним етапом ЛЕП в урболандшафтах. В містах цей етап має свою специфіку, оскільки концепція заходів повинна відповідати концептуальним засадам використання того чи іншого ландшафту.

На комплексній рекомендаційній карті лише для урболандшафтів перелік оптимізаційних заходів розроблений окремо для територій з різною цільовою концепцією використання: промислового, водогосподарського, лінійно-дорожнього, захисно-рекреаційного та селітебного типу.

Особливістю інвентаризаційного етапу ЛЕП об'єктів **природно-заповідного фонду (ПЗФ)** є те, що окрім звичайного набору інформації про природні компоненти необхідно зібрати поглиблені дані щодо наявності і позиційного розташування цінних природних об'єктів, які забезпечили включення цих територій до ПЗФ. Проведення наступних етапів ЛЕП не відрізняється від загального методичного підходу.

Особливості ЛЕП **в лісництвах і лісових господарствах** досліджено на прикладі модельних територій Зміївського лісгоспу, Гомільшанського і Васищівського лісництв, де здійснювалась апробація методики дослідження. Першою особливістю ЛЕП лісових господарств є складна територіальна організація, оскільки їх межі збігаються з межами лісів і тому у лісостеповій зоні України майже завжди не утворюється суцільна площа, як, наприклад у лісовій. Тому на інвентаризаційному етапі першою має укладатись картосхема позиційного розташування складових лісгоспу. Другою особливістю цього об'єкту ЛЕП є його внутрішня ієрархія. Як правило, у складі лісового господарства функціонує кілька лісництв, а вони, у свою чергу об'єднують кілька урочищ. Тому наступною має створюватись картосхема внутрішньої структури лісгоспу. Важливість її зростає з точки зору не лише прикладного використання результатів ЛЕП, що містять рекомендації з оптимізації природокористування для кожного лісництва окремо, а і в процесі дослідження.

Так, при виявленні проблемних ситуацій в певному лісництві чи, навіть, урочищі, можна виконати додатковий відбір зразків лише у межах цього урочища та знайти причини і оцінити наслідки саме для цього урочища (Рис. 7.7.). Розробка заходів також буде здійснюватись саме для цього урочища.

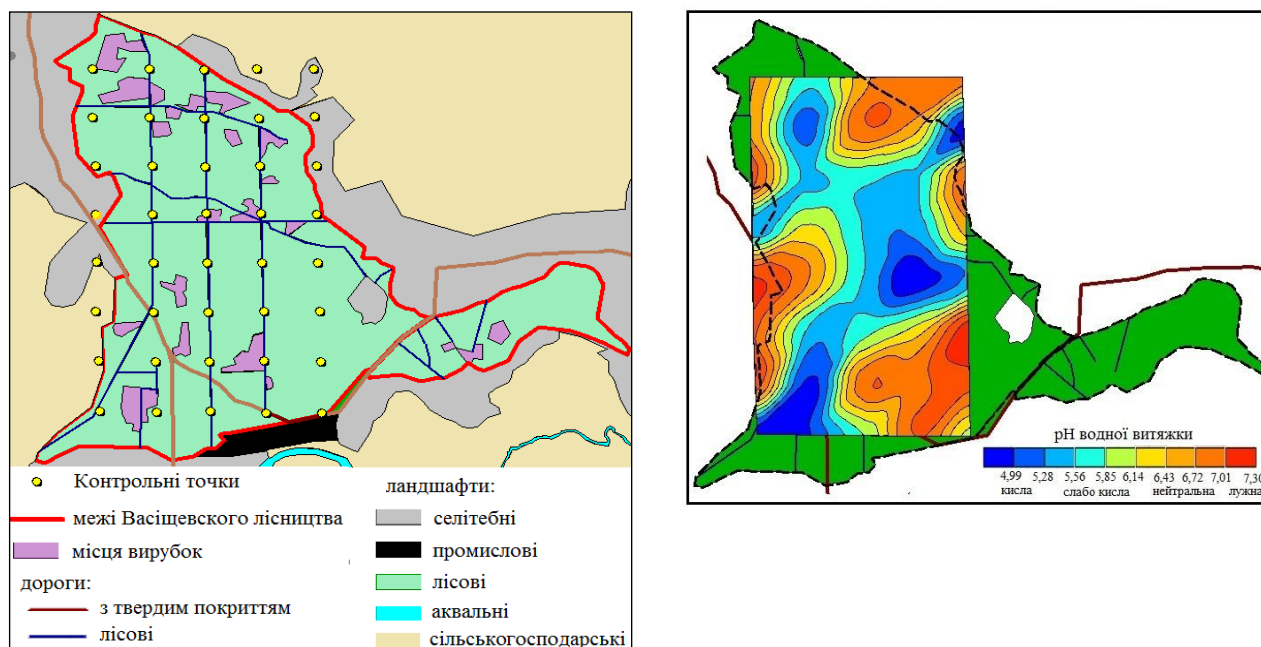


Рис. 7.7. Мережа точок спостереження і рН водної витяжки ґрунтів урочища Бір 2

Особливість ЛЕП *водогосподарських ландшафтів* полягає у необхідності узгодження інтересів власників водойми та власників прилеглих земельних угідь. Саме ЛЕП дає можливість визначити існуючі конфлікти природокористування в зоні впливу самої водогосподарської системи і на водогосподарську систему, передбачити їх наслідки і розробити заходи з оптимізації. Додатковими дослідженнями у цих системах, на відміну від інших, є необхідність моделювання не лише статичних параметрів, а і динамічних, оскільки протягом року водогосподарська система зазнає значних перетворень (рівень води, концентрація забруднення, інтенсивність джерел конфлікту тощо). Принциповою особливістю дослідження є здійснення ЛЕП не лише в межах водойми, а в межах водозбірного басейну в цілому.

7.3. Семінар

1. Підготуйте виступ і презентацію за обраними темами

Етапи

1. Інвентаризаційний етап ландшафтно-екологічного планування (ЛЕП)
2. Оціночний етап ландшафтно-екологічного планування (ЛЕП)
3. Етап аналізу конфліктів природокористування ландшафтно-екологічного планування (ЛЕП)
4. Етап узагальнення і прогнозу ландшафтно-екологічного планування (ЛЕП)
5. Оптимізаційний етап ландшафтно-екологічного планування (ЛЕП)

Особливості

1. Особливості ЛЕП населених пунктів
2. Особливості ЛЕП агрофірм
3. Особливості ЛЕП лісництв.
4. Особливості ЛЕП об'єктів природно-заповідного фонду.
5. Особливості ЛЕП водноантропогенних об'єктів.

2. Використовуючи матеріал лекції та додаткові матеріали, що вивчені під час самостійної роботи необхідно підготуватись до семінару за такими питаннями:

1. Дайте визначення поняттю ландшафтне планування.
2. Визначення ландшафтного планування з позицій інвайронментальних наук.
3. У чому полягає різниця між ландшафтним і ландшафтно-екологічним плануванням?
4. Назвіть головні завдання ландшафтно-екологічного планування.
5. Яка головна мета, «кінцева бажана ціль» здійснення ландшафтного та ландшафтно-екологічного планування ?
6. Дайте визначення основним (базовим) поняттям : ландшафт, компоненти ландшафту, навколишнє середовище та компоненти навколишнього середовища.
7. Дайте визначення поняттям: планування, сталий розвиток, природні ресурси, природно-ресурсний потенціал.
8. Яка існує різниця і чи є спільне між поняттями «управління ландшафтом» та «планування ландшафту»?
9. Перелічіть і стисло опишіть сенс основних принципів ландшафтно-екологічного планування.
10. Наведіть приклади об'єктів ландшафтно-екологічного планування.

11. Алгоритм і структура ландшафтного-екологічного планування.
12. Порівняйте структуру і етапи ландшафтного планування німецької і американської моделей.
13. У чому криється специфіка здійснення процесу планування ландшафту на різних масштабних рівнях? Переваги і недоліки кожного з рівнів.
14. У чому полягає перевага у «суб'єкт-суб'єктному» підході до розуміння ландшафту в процесі планування?
15. Що таке суб'єкт ландшафту? Які види суб'єктів ландшафту існують і в чому проявляється специфіка кожного із видів суб'єктів?
16. Назвіть ключові етапи організації ландшафтно-планувальних робіт.
17. Що виступає законодавчим підґрунтям здійснення ландшафтного і ландшафтно-екологічного планування в Україні.
18. Опишіть структуру інвентаризаційного етапу ландшафтно-екологічного планування. В чому полягає зміст операційних кроків?
19. Опишіть структуру оціночного етапу ландшафтно-екологічного планування. В чому полягає зміст операційних кроків?
20. Дайте визначення поняттю конфлікт природокористування.
21. Які існують підходи до оцінка інтенсивності конфліктів природокористування?
22. У чому сутність категорій «значущість» і «чутливість» у процесі здійснення оціночного-етапу ландшафтно-екологічного планування?
23. Що таке ціль розвитку ландшафту в контексті планування?
24. Наведіть типові приклади природоохоронних заходів для різних цілей розвитку ландшафту.
25. Назвіть відомі Вам сфери практичного застосування ландшафтно-екологічного планування? Які задачі цей різновид планування здатен вирішувати в межах означених сфер?

7.4. Практична складова

Визначити конфлікти природокористування на території власного дослідження.

Порядок виконання роботи.

1. Підготувати картосхему території дослідження.
2. Нанести на неї основні стаціонарні джерела конфліктів.
3. Визначити напрямки руху пересувних джерел конфлікту.
4. Створити матриці конфліктів, в яких вказати типи ландшафтів (горизонтальні рядки) та джерела конфліктів (вертикальні стовці). В процесі польового обстеження території на перетині в клітинках заповнити:

- в матриці наявності – ставити «+» або «-»;
 - в матриці інтенсивності – вписувати «низька», «Середня», «висока»;
 - в матриці суті конфлікту – в чому полягає конфлікт.
5. За результатами узагальнення результатів заповнення матриці, на карті нанести кольором або штриховкою ареали конфліктів природокористування. Приклади на рисунках 7.8 і 7.9:

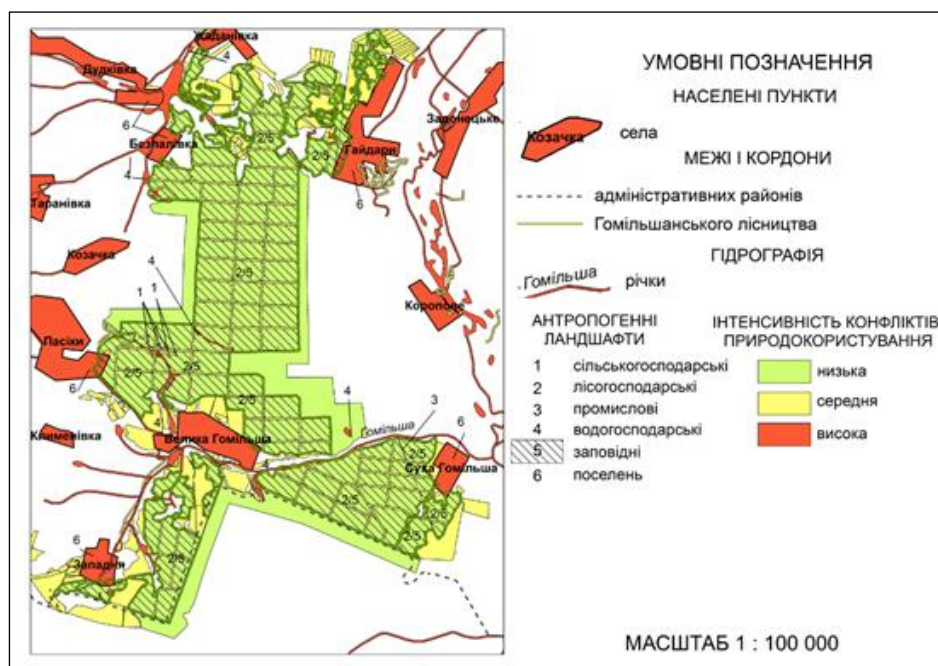


Рис. 7.8. Інтенсивність внутрішніх та суміжних конфліктів природокористування Гомільшанського лісництва.

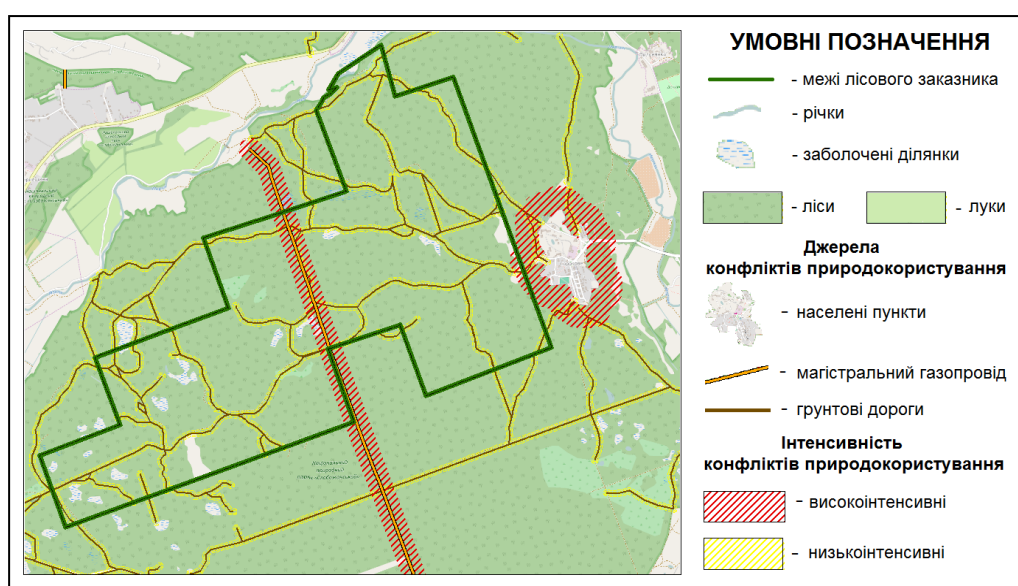


Рис. 7.9. Інтенсивність конфліктів природокористування заказника Володимирівська лісова дача.

7.5. Рекоменована література

1. Максименко Н.В. Ландшафтно-екологічне планування : теорія і практика. Монографія. Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2017. <https://www.researchgate.net/search.Search.html?query=%D0%9B%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D1%88%D0%B0%D1%84%D1%82%D0%BD%D0%BE-%D0%B5%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B5+%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F&type=publication>
2. Ландшафтно-екологічне планування і формування екологічної мережі [Текст] : навч. посіб. / М. В. Боярин, Н. В. Максименко, З. К. Карпюк. – Луцьк : Вежа-Друк, 2024. – 356 с. <https://evnuir.vnu.edu.ua/handle/123456789/27497>
3. Maksymenko N., Kleshch A., Shumilova A. Landscape-ecological assessment of «Volodymyrivska dacha» forestry reserve's territory for environmental management. *TEKA. Commission of motorization and energetics in agriculture*. 2017. Vol. 17, No.1, p. 91-96. [COMPREHENSIVE EVALUATION OF DIESEL PARTICULATE FILTER EFFICIENCY ON INDICATORS OF NUMBER, SURFACE AND MASS CONCENTRATION OF DISPERSE PARTICLES](https://pan-ol.lublin.pl/COMPREHENSIVE_EVALUATION_OF_DIESEL_PARTICULATE_FILTER EFFICIENCY ON INDICATORS OF NUMBER, SURFACE AND MASS CONCENTRATION OF DISPERSE PARTICLES) (pan-ol.lublin.pl)
4. Максименко Н. В., Порохняк О. В. Екологічна оцінка геохімічного стану ґрунтів аграрної фірми «Коробочкине». *World Science*. June 2018. Vol.3, No 6 (34). DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/12062018/5830
5. Voronin V. O., Maksymenko N. V., Cherkashyna N. I., Son'ko S. P. Geochemical aspect of landscape planning in forestry. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2018. ISSUE 22. Volume 27 (1). P. 81–87. DOI: <https://doi.org/10.15421/111833> . URL: <https://geology-dnu.dp.ua/index.php/GG/article/view/498/451>
6. Maksymenko N. V. Principles of synergetic paradigm in landscape-ecological planning of river basin. *Scientific Letters of Academic Society of Michal Baludansky*. 2016. Volume 4. No. 3. P. 91–93. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/33693451.pdf>
7. Maksymenko N. V., Klieshch A. A. Geochemical analysis of the urban landscape (on the example of Kharkiv). *Scientific Letters of Academic Society of Michal Baludansky*. 2016. Volume 4. No. 3. P. 127–130. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/33693451.pdf>
8. Максименко Н. В. Ландшафтно-екологічне планування, як підґрунтя управлінських рішень про надання екосистемних послуг. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія : Геологія. Географія*.

- Екологія*. 2016. Вип. 45. С. 153–158. URL: <https://periodicals.karazin.ua/geoeco/article/view/8192>
9. Максименко Н. В., Гоголь О. М. Комплексний ландшафтно-екологічний індекс як підґрунтя для оцінки стану територій. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії* : збірник наукових праць. Харків, 2016. Випуск 24. С. 61–67. URL: <https://periodicals.karazin.ua/pbgok/article/view/6409>
10. Максименко Н. В.. Конфлікти природокористування поморських ландшафтів Надморського ландшафтного парку (Польща). *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*, (3-4(26), 9-18. URL: <https://periodicals.karazin.ua/humanenviron/article/view/7748>
11. Максименко Н. В., Порохняк О. В. Перспективи розвитку ландшафтного планування як засобу для оптимізації функціонування агроєкосистем. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології* : науковий журнал Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. 2015. Харків, 2015. № 3–4. С. 21–27. URL: <https://periodicals.karazin.ua/humanenviron/article/view/5550/5103>
12. Максименко Н. В., Корешева О. В. Аналіз конфліктів природокористування, як основа ландшафтного планування території Гомільшанського лісництва. *Вісник Львівського університету. Серія: Географічна*. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2014. Випуск №48. С. 261–266. DOI: <http://dx.doi.org/10.30970/vgg.2014.48.1349>
13. Максименко Н. В., Михайлова К. Ю. ГІС-моделювання агроландшафтів для потреб ландшафтного планування. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. Харків, 2013. № 3–4. С. 94–105. URL: <https://periodicals.karazin.ua/humanenviron/article/view/1001>
14. Максименко Н. В., Квартенко Р. А. Территориальное планирование экологической сети Харьковской области на ландшафтной основе. *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер. «Естественные науки»*. Белгород, НИУ «БелГУ», 2013. Випуск № 24. С. 178–187. URL: [https://www.bsu.edu.ru/upload/iblock/67c/N%207\(160\)_24.pdf](https://www.bsu.edu.ru/upload/iblock/67c/N%207(160)_24.pdf)
15. Максименко Н. В., Михайлова К. Ю. Моделювання агроландшафтів для цілей сталого розвитку регіону. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Наук. журнал. Спецвипуск, присвячений 150-річчю В. І. Вернадського. Серія: Географія*. Сімферополь : ТНУ, 2013. Том 26 (65). № 3. С. 221–225.

Електронне навчальне видання комбінованого використання
Можна використовувати в локальному та мережному режимі

Ачасов Андрій Борисович
Коваль Ірина Михайлівна
Крайнюков Олексій Миколайович
Максименко Надія Василівна
Некос Алла Наумівна
Тітенко Ганна Валеріївна

**НАУКОВІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ,
МОДЕЛЮВАННЯ І РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ
ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ**

Навчально-методичний посібник
до вивчення курсу для здобувачів вищої освіти третього рівня
за спеціальністю Е2 «Екологія»

В авторській редакції

Підписано до розміщення 23.10.2025. Гарнітура Times New Roman.
Ум. друк. арк. 6,80. Обсяг 4,863 Мб. Зам. № 491/25.

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,
61022, м. Харків, майдан Свободи, 4.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3367 від 13.01.2009
Видавництво ХНУ імені В. Н. Каразіна