

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства
та природокористування

Навчально-науковий інститут агроекології та землеустрою

Кафедра землеустрою, кадастру, моніторингу земель та
геоінформатики

05-05-121М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни
«ГІС в задачах моніторингу» (частина друга)
для здобувачів вищої освіти другого (магістерського рівня)
за освітньо-професійною програмою
«Геоінформаційні системи і технології»
спеціальності G18 «Геодезія та землеустрій»
денної та заочної форм навчання

Рекомендовано
науково-методичною радою
з якості ННІ агроекології та
землеустрою
Протокол № 5 від 08.01.2026 р.

Рівне – 2026

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «ГІС в задачах моніторингу» (частина друга) для здобувачів вищої освіти другого (магістерського рівня) за освітньо-професійною програмою «Геоінформаційні системи і технології» спеціальності G18 «Геодезія та землеустрій» денної та заочної форм навчання [Електронне видання] / Мошинський В. С., Люсак А. В., Корбутяк В. М., Шульган Р. Б. – Рівне : НУВГП, 2026. – 34 с.

Укладачі: Мошинський В. С., д.с-г.н., професор кафедри землеустрою, кадастру, моніторингу земель та геоінформатики; Люсак А. В., к.т.н., доцент, доцент кафедри землеустрою, кадастру, моніторингу земель та геоінформатики; Корбутяк В. М., к.т.н., доцент, доцент кафедри землеустрою, кадастру, моніторингу земель та геоінформатики; Шульган Р. Б., к.т.н., доцент, доцент кафедри землеустрою, кадастру, моніторингу земель та геоінформатики.

Відповідальний за випуск: Ліщинський А. Г., к.т.н., доцент, завідувач кафедри землеустрою, кадастру, моніторингу земель та геоінформатики.

Керівник групи забезпечення спеціальності:
Корбутяк В. М., к.т.н., доцент, доцент кафедри землеустрою, кадастру, моніторингу земель та геоінформатики.

Попередня версія методичних вказівок 05-05-102М

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1. Тематика лабораторних занять.....	4
2. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт ..	4
3. Рекомендована література.....	32

© В. С. Мошинський,
А. В. Люсак, В. М. Корбутяк,
Р. Б. Шульган, 2026
© НУВГП, 2026

ВСТУП

Дисципліна «ГІС в задачах моніторингу» спрямована на формування у здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти цілісного уявлення про сучасні підходи до збору, оброблення, аналізу та представлення просторово-часових даних у системах моніторингу стану та охорони територій.

У межах курсу розглядаються теоретичні засади моніторингу, побудова та ієрархічна організація моніторингових мереж, принципи геоприв'язки просторових даних, проєктування баз даних моніторингових ГІС, методи просторового аналізу та геостатистичного моделювання. Особлива увага приділяється аналізу закономірностей просторового розподілу моніторингових показників, дослідженню трендів, просторової автокореляції, побудові та оцінюванню геопросторових моделей із використанням геостатистичного інструментарію.

Практична складова курсу зорієнтована на формування навичок роботи в програмних середовищах **QGIS**, **ArcGIS** та веборієнтованих платформах візуалізації просторових даних. Завершальним етапом навчання є створення інтерактивних карт, які забезпечують ефективне представлення результатів моніторингових досліджень для наукових, управлінських і прикладних цілей.

Методичні рекомендації побудовані за принципом послідовного ускладнення матеріалу – від базових операцій геоінформаційних систем до комплексного геостатистичного аналізу та вебпредставлення результатів – і можуть бути використані як у навчальному процесі, так і під час виконання магістерських робіт.

1. Тематика практичних занять

№ з/п	Назва	Кількість годин (д/з форма)
1	Картограми ґрунтового-геоморфологічного районування.(ч.1)	8/2
2	Картограми техногенного навантаження (ч.1)	4/1
3	Проектування мережі ПОІ (ч.1)	4/1
4	Концептуальні моделі та бази даних для зберігання та обробки моніторингових даних.	4/1
5	Геостатистичний аналіз даних спостережень. Дослідження законів розподілу даних	6/2
6	Геостатистичний інструментарій при вирішенні моніторингових задач в ГІС.	4/1
7	Побудова картографічної моделі та виконання перехресної перевірки даних	2/2
ВСЬОГО		32/10

2. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт

Лабораторна робота 4. Концептуальні моделі та бази даних для зберігання та обробки моніторингових даних

Тема присвячена формуванню системного підходу до організації моніторингу природних і природно-антропогенних систем із використанням геоінформаційних технологій. У межах теми поєднуються лабораторна робота, орієнтована на аналіз і структурування компонентів системи моніторингу, та практична робота, спрямована на

розробку власної концептуальної моделі для конкретної території.

Метою роботи є сформулювати уявлення про концептуальне моделювання як основу побудови системи моніторингу та навчитися виділяти її ключові компоненти, зв'язки й інформаційні потоки.

Основні завдання:

1. Ознайомитися з поняттям концептуальної моделі системи моніторингу.
2. Визначити основні елементи системи моніторингу.
3. Проаналізувати взаємозв'язки між компонентами системи.
4. Сформулювати узагальнену концептуальну структуру системи моніторингу.

Концептуальна модель системи моніторингу - це узагальнене логіко-структурне уявлення про склад, ієрархію та взаємодію елементів системи, яке відображає, *що саме* контролюється, *яким чином* здійснюється збір і обробка даних та *для яких цілей* використовується отримана інформація.

Концептуальна модель є верхнім рівнем моделювання і передуює створенню логічної та фізичної моделей. Вона не залежить від конкретного програмного забезпечення та слугує методичною основою побудови систем моніторингу різного призначення.

Рівні моделей у системах моніторингу

- Концептуальна модель - визначає об'єкти, процеси та зв'язки між ними.
- Логічна модель - формалізує структуру даних, показники та їх взаємозв'язки.
- Фізична модель - реалізує систему в конкретному ГІС та базі даних.

Основні компоненти концептуальної моделі системи моніторингу

1. **Об'єкти моніторингу** (грунти, води, атмосфера, ландшафти, техногенні об'єкти).

2. **Показники моніторингу** (фізичні, хімічні, біологічні, інтегральні).
3. **Моніторингова мережа** (полігони, стаціонари, пункти спостережень).
4. **Джерела даних** (польові вимірювання, дистанційне зондування, статистичні дані).
5. **Процеси обробки та аналізу** (просторовий аналіз, моделювання, оцінювання).
6. **Результати моніторингу** (карти, бази даних, звіти, показники стану).
7. **Користувачі та управлінські рішення.**

Інформаційні потоки в системі моніторингу

У концептуальній моделі виділяють вхідні, внутрішні та вихідні інформаційні потоки. Вхідні потоки формуються на основі спостережень і вимірювань, внутрішні - забезпечують аналіз і трансформацію даних, вихідні - спрямовані на підтримку прийняття рішень.

Роль ГІС у реалізації концептуальної моделі

ГІС виступає інтегруючим середовищем, у якому поєднуються просторові дані, результати моніторингових спостережень та аналітичні модулі. На концептуальному рівні визначається, які елементи системи реалізуються засобами ГІС, а які - поза нею.

Результати лабораторної роботи

- текстовий опис концептуальної моделі системи моніторингу;
- перелік основних компонентів та їх взаємозв'язків;
- узагальнена схема структури системи;
- підготовка основи для переходу до логічної та фізичної моделей.

Типова схема концептуальної моделі системи моніторингу

Концептуальна модель системи моніторингу може бути подана у вигляді блок-схеми, що відображає взаємодію між об'єктами моніторингу, моніторинговою мережею, потоками даних, аналітичними модулями та користувачами

результатів. Центральним елементом схеми є блок «Система моніторингу», до якого підводяться вхідні дані (польові спостереження, дистанційне зондування, статистичні джерела) та від якого відходять вихідні продукти (карти, бази даних, звіти, управлінські рекомендації).

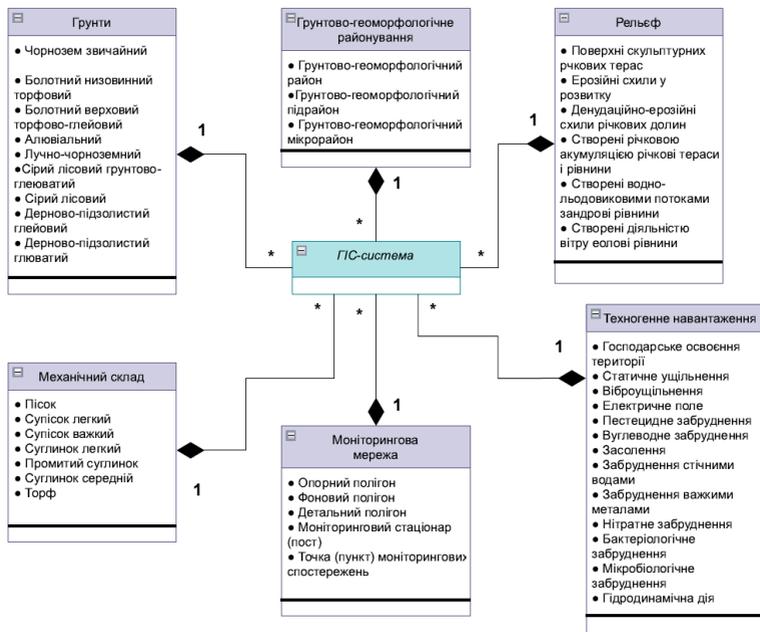


Рисунок 1. Приклад концептуальної моделі

Під схемою доцільно наводити пояснювальний підпис із зазначенням, що модель є узагальненою та може адаптуватися до різних типів територій і об'єктів дослідження.

Оцінювання здійснюється за такими показниками:

- повнота використання інструментів для створення концептуальної моделі;
- коректність проектування самої моделі;
- якість оформлення;
- логічність і обґрунтованість висновків.

Рекомендована література: [1-5, 7, 11, 12, 19]

Лабораторна робота 5. Геостатистичний аналіз даних спостережень. Дослідження законів розподілу даних

5.1. Картографування з використанням геостатистичного інструментарію

Метою роботи є ознайомлення з геостатистичним аналізом як ключовим етапом обробки моніторингових даних. ArcGIS забезпечує комплексний і зручний інструментарій для професійного аналізу, тоді як QGIS пропонує відкриту та гнучку альтернативу, придатну для навчальних і наукових цілей.

Геостатистичний аналіз - це сукупність методів статистичного опрацювання просторово прив'язаних даних, які враховують не лише значення показників, але й їх просторові взаємозв'язки. У системах екологічного та земельного моніторингу геостатистика використовується для аналізу розподілу показників, виявлення просторових закономірностей, оцінювання аномалій та прогнозування значень у точках без прямих спостережень.

Просторові дані та їх властивості

Моніторингові дані в ГІС характеризуються такими властивостями:

- **Просторова прив'язка** - кожне спостереження має координати;
- **Неперервність у просторі** - значення показників змінюються поступово;
- **Просторова автокореляція** - близько розташовані об'єкти мають подібні значення;
- **Стохастичний характер** - наявність випадкових коливань і шумів.

Закон розподілу моніторингових даних

Під законом розподілу розуміють характер статистичного розподілу значень показника у вибірці. Для моніторингових даних найчастіше аналізують:

- **Нормальний (гаусівський) розподіл** - симетричний, характерний для стабільних природних процесів;

- **Логнормальний розподіл** - типовий для концентрацій забруднювачів;
- **Асиметричні розподіли** - характерні для деградованих або техногенно порушених територій.

Перевірка відповідності нормальному розподілу є обов'язковим етапом геостатистичного аналізу, оскільки більшість методів інтерполяції (крігінг) базуються саме на ньому.

Основні інструменти аналізу розподілу

- **Histogram (гістограма)** - дозволяє візуально оцінити форму розподілу, наявність викидів, асиметрію;
- **Normal QQ Plot (К–К графік)** - порівнює емпіричний розподіл із теоретичним нормальним;
- **Описова статистика** - середнє, медіана, дисперсія, стандартне відхилення.

Модуль Geostatistical Analyst в ArcGIS

Geostatistical Analyst - спеціалізований модуль ArcGIS, призначений для виконання повного циклу геостатистичного аналізу: від первинного аналізу даних до створення прогнозних поверхонь.

Основні функціональні блоки модуля

Exploratory Spatial Data Analysis (ESDA)

Забезпечує попередній аналіз даних:

- Histogram;
- Normal QQ Plot;
- Trend Analysis;
- Summary Statistics.

Spatial Autocorrelation and Variography

- Аналіз просторової автокореляції;
- Побудова та аналіз експериментальних варіограм;
- Підбір теоретичних моделей варіограм.

Geostatistical Interpolation

- Ordinary Kriging;
- Universal Kriging;

- Indicator Kriging;
- Co-Kriging.

Validation and Diagnostics

- Cross-validation;
- Error diagnostics;
- Аналіз точності прогнозу.

Переваги ArcGIS Geostatistical Analyst

- Інтуїтивний інтерфейс;
- Висока інтеграція з іншими модулями ArcGIS;
- Професійні засоби валідації моделей.

Геостатистичні можливості QGIS

QGIS - відкрита ГІС-платформа, яка реалізує геостатистичний аналіз через вбудовані інструменти та зовнішні модулі обробки.

Вбудовані інструменти QGIS

- **Histogram** (властивості шару);
- **Basic Statistics**;
- **QQ Plot** (через плагіни або Processing).

Processing Toolbox

SAGA GIS

- Histogram and Distribution Analysis;
- Variogram Analysis;
- Kriging (Ordinary, Universal);
- Grid Interpolation.

GRASS GIS

- Spatial statistics;
- Surface interpolation;
- Trend surface analysis.

Переваги QGIS

- Відкритий код і безкоштовне використання;
- Гнучкість у виборі алгоритмів;

- Можливість інтеграції з Python (PyQGIS).

Гістограма як інструмент аналізу моніторингових даних

Гістограма (Histogram) - це графічне представлення емпіричного розподілу значень моніторингового показника у вигляді стовпчиків, які відображають частоту потрапляння значень у певні інтервали. У геоінформаційних системах гістограма є базовим інструментом первинного статистичного аналізу.

Основні характеристики гістограми:

- форма розподілу (симетрична, асиметрична, багатoverшинна);
- положення центральної тенденції (середнє, медіана, мода);
- розсіювання значень (ширина розподілу);
- наявність аномальних значень (викидів).

У системах моніторингу гістограми застосовують для:

- попередньої оцінки якості польових та лабораторних даних;
- виявлення помилок вимірювань або введення даних;
- визначення доцільності застосування геостатистичних методів;
- вибору типу трансформації даних (логарифмічна, степенева тощо).

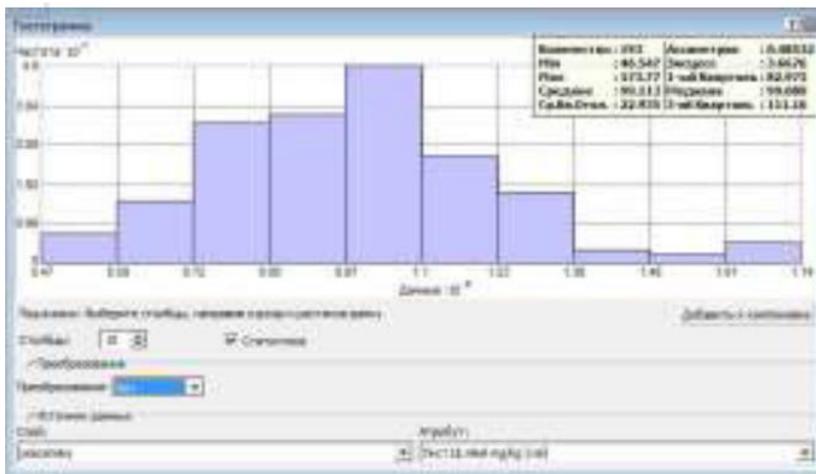


Рисунок 2. Вікно гістограми досліджуваних даних

Графік нормального розподілу та Normal QQ Plot

Графік нормального розподілу відображає теоретичну криву Гауса, яка використовується як еталон для порівняння з фактичним розподілом моніторингових даних. Відповідність або відхилення від нормального розподілу має принципове значення для подальших етапів аналізу.

Normal QQ Plot (Quantile–Quantile Plot) - це графік, на якому емпіричні квантілі розподілу даних порівнюються з теоретичними квантілями нормального розподілу. Якщо дані мають нормальний розподіл, точки розташовуються поблизу прямої лінії.

Інтерпретація QQ Plot:

- точки вздовж прямої - дані близькі до нормального розподілу;
- S-подібна форма - асиметрія розподілу;
- відхилення на краях - наявність викидів або важких хвостів.

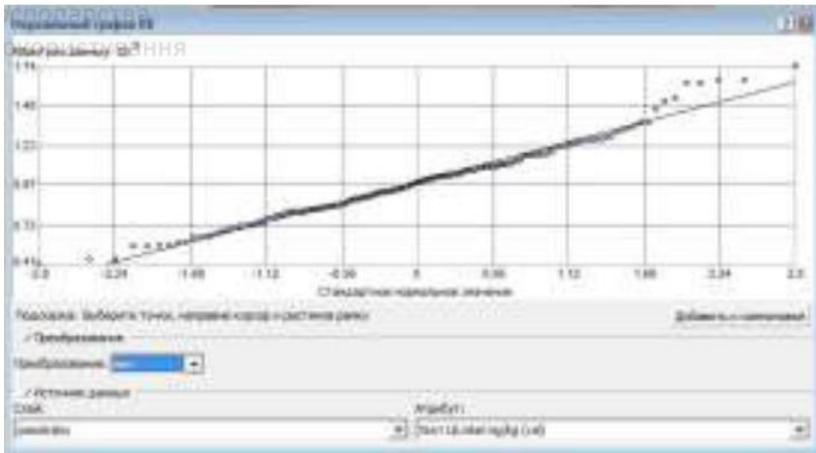


Рисунок 3. Графік нормального розподілу Normal QQ Plot

Використання результатів гістограм і QQ Plot у системах моніторингу

Результати аналізу гістограм та графіків нормального розподілу відіграють ключову роль у прийнятті рішень у моніторингових ГІС.

Основні напрями використання:

- **обґрунтування вибору методів інтерполяції** (крігінг, IDW, сплайн);
- **оцінювання стабільності природних процесів** на території дослідження;
- **виявлення зон екологічного ризику** та аномальних концентрацій;
- **підготовка управлінських рішень** щодо охорони земель і довкілля;
- **контроль динаміки змін** показників у часі.

У практиці екологічного та земельного моніторингу результати геостатистичного аналізу використовуються не лише для наукових досліджень, а й як інформаційна основа для планування природоохоронних заходів, оптимізації мережі спостережень і вдосконалення системи моніторингу.

У процесі роботи студент повинен уміти:

- імпортувати точкові моніторингові дані в ArcGIS та QGIS;
- перевіряти коректність координат, атрибутів та одиниць виміру;
- виконувати первинну статистичну перевірку вибірки.
- будувати:
 - гістограму розподілу даних (Histogram);
 - нормальний графік імовірностей (Normal Q–Q Plot);
- аналізувати форму розподілу даних і визначати відхилення від нормального закону;
- виконувати геостатистичний аналіз з використанням:
 - **Geostatistical Analyst (ArcGIS); SAGA / QGIS Processing Toolbox**

Критерії оцінювання

- повнота виконання практичної частини;
- правильність використання геостатистичних методів;
- якість картографічних матеріалів;
- обґрунтованість висновків;
- відповідність звіту вимогам оформлення.

Рекомендована література: [1-5, 7, 11, 12-16, 19]

5.2. Дослідження моніторингових даних на наявність локальних та глобальних трендів

Метою роботи є ознайомити студентів з методами виявлення та аналізу **глобальних і локальних трендів** у моніторингових даних, сформувати навички просторово-часового аналізу результатів спостережень та інтерпретації закономірностей змін стану довкілля з використанням геоінформаційних систем і статистичних методів.

У процесі виконання роботи студент повинен:

- засвоїти поняття глобального та локального тренду в моніторингових даних;
- навчитися визначати трендову складову у просторових і часових рядах спостережень;

- виконати аналіз просторової неоднорідності показників довкілля;
- оцінити вплив природних і техногенних факторів на формування трендів;
- сформуувати картографічні та аналітичні матеріали для подальшого геостатистичного моделювання.

Поняття тренду в моніторингових дослідженнях

Тренд - це стійка закономірність зміни показника у просторі та/або часі, яка відображає загальний напрямок розвитку процесу або явища.

У моніторингових дослідженнях виділяють:

- **глобальний тренд** - загальну закономірність зміни показника на всій досліджуваній території або протягом тривалого періоду часу;
- **локальний тренд** - відхилення від глобальної закономірності, зумовлене локальними природними або антропогенними факторами.

Глобальні тренди

Глобальний тренд характеризує:

- поступове зростання або зниження концентрацій забруднюючих речовин;
- загальні зміни температурного режиму, вологості, рівнів забруднення;
- вплив регіональних або макрорегіональних факторів (клімат, рельєф, загальний рівень антропогенного навантаження).

У просторовому аналізі глобальний тренд часто має вигляд:

- лінійної;
- поліноміальної;
- експоненціальної залежності показника від координат.

Виявлення глобального тренду є обов'язковим етапом перед застосуванням методів геостатистичного аналізу, зокрема кригінгу.

Локальні тренди

Локальні тренди відображають:

- вплив окремих джерел техногенного навантаження;
- локальні особливості рельєфу, ґрунтів, гідрологічних умов;
- наслідки господарської діяльності на обмежених ділянках.
- Локальні тренди проявляються у вигляді:
 - аномальних значень;
 - різких градієнтів показників;
 - «плям» підвищених або знижених концентрацій.

Роль трендового аналізу в системах моніторингу

Аналіз трендів дозволяє:

- відокремити систематичні зміни від випадкових коливань;
- підвищити точність прогнозування;
- коректно застосовувати методи просторової інтерполяції;
- обґрунтувати управлінські рішення у сфері охорони довкілля.

Виконання роботи в середовищі ArcGIS (ArcMap / ArcGIS Pro)

1.1. Підготовка та завантаження вихідних даних

1. Запустити **ArcMap** або **ArcGIS Pro**.
2. Створити новий проєкт.
3. Завантажити:
 - точковий шар моніторингових спостережень (формат *shp, geodatabase*);
 - за потреби - допоміжні шари (адміністративні межі, рельєф, землекористування).
4. Перевірити:
 - правильність системи координат;
 - наявність атрибуту з числовими значеннями показника (концентрація, рівень, індекс тощо).
5. У разі потреби виконати **Project** для приведення даних до єдиної проєкції.

1.2. Первинний статистичний аналіз даних

1. Відкрити **Attribute Table** точкового шару.
2. Виконати:
 - описову статистику (мінімум, максимум, середнє);
 - виявлення аномальних значень.
3. Запустити модуль **Geostatistical Analyst**.
4. Побудувати:
 - гістограму розподілу;
 - Normal QQ Plot для оцінки наближеності до нормального розподілу.
5. Зробити висновки щодо характеру розподілу даних.

1.3. Аналіз глобального тренду

1. У модулі **Geostatistical Analyst** обрати інструмент: **Explore Data** → **Trend Analysis**.
2. Вибрати:
 - точковий шар;
 - атрибут показника моніторингу.
3. Проаналізувати:
 - тренд уздовж осі X;
 - тренд уздовж осі Y.
4. Визначити:
 - наявність або відсутність глобального тренду;
 - характер тренду (лінійний, квадратичний, складніший).
5. Зафіксувати напрямок зростання або спадання значень.

1.4. Побудова трендової поверхні

1. Використати **Geostatistical Wizard**.
2. Обрати метод **Trend Surface**.
3. Встановити:
 - порядок полінома (1–3);
 - параметри аппроксимації.
4. Побудувати:
 - карту глобального тренду;
 - карту залишків (residuals).
5. Оцінити:
 - просторову структуру залишкових значень;

- зони локальних відхилень.

1.5. Детрендування та аналіз локальних трендів

1. У Geostatistical Wizard увімкнути опцію **Remove Trend**.
2. Отримати:
 - набір детрендованих даних;
 - карту локальних аномалій.
3. Проаналізувати:
 - концентрацію локальних трендів;
 - їх зв'язок з джерелами техногенного впливу.
4. Підготувати дані для подальшого кригінгу.

Виконання роботи в середовищі QGIS

2.1. Підготовка даних у QGIS

1. Запустити **QGIS**.
2. Створити новий проєкт.
3. Додати:
 - точковий шар моніторингових даних;
 - допоміжні шари (опційно).
4. Перевірити CRS проєкту та шарів.
5. За необхідності використати **Reproject Layer**.

2.2. Первинний аналіз та візуалізація

1. Відкрити **Attribute Table**.
2. Скористатися **Field Statistics**:
 - мінімум, максимум, середнє;
 - стандартне відхилення.
3. Побудувати:
 - гістограму значень;
 - графіки розподілу (через **Data Plotly** або **Statistics Panel**).
4. Оцінити однорідність вибірки.

2.3. Аналіз глобального просторового тренду

1. Створити координатні поля X та Y:
 - **Field Calculator** → **\$x**, **\$y**.
2. Виконати:

- регресійний аналіз залежності показника від координат;
 - аналіз лінійного або поліноміального тренду.
3. Побудувати трендову поверхню:
 - за допомогою **Raster** → **Interpolation** → **TIN / IDW**;
 - або через **Processing Toolbox** → **SAGA** → **Trend Surface Analysis**.
 4. Візуально оцінити напрямок глобального тренду.

2.4. Усунення глобального тренду (детрендування)

1. Обчислити прогнозні значення тренду.
2. Створити нове поле:
 - **Residual = Observed – Trend**.
3. Побудувати карту залишків.
4. Проаналізувати:
 - локальні зони підвищених/знижених значень;
 - просторову структуру залишків.

2.5. Аналіз локальних трендів

1. Виконати локальну інтерполяцію залишкових значень.
2. Проаналізувати просторову неоднорідність.
3. Зіставити результати з:
 - розташуванням техногенних об'єктів;
 - природними умовами території.
4. Підготувати дані до геостатистичного моделювання (кригінг).

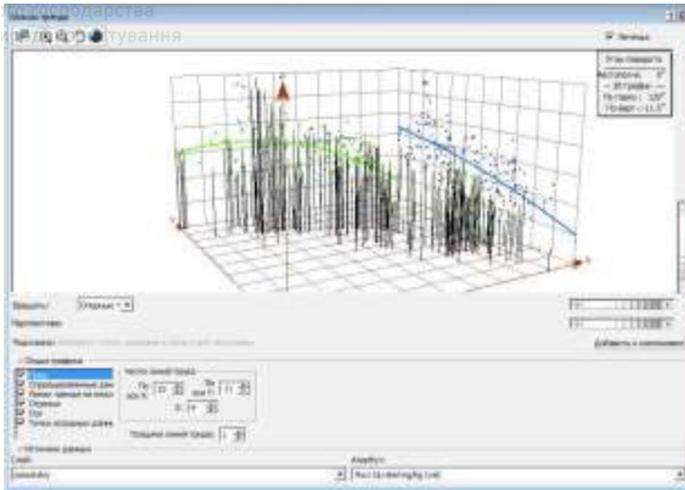


Рисунок 4. Аналіз трендів по напрямках

Таблиця 8.

Порівняльний аналіз результатів (ArcGIS vs QGIS)

Критерій	ArcGIS	QGIS
Інструменти тренд-аналізу	Вбудовані (Trend Analyst)	Комбіновані (плагіни, SAGA, GRASS)
Візуалізація	Інтерактивна	Гнучка, але потребує налаштування
Детрендування	Автоматизоване	Напівручне
Освітня наочність	Висока	Висока за правильного підбору інструментів

Порядок виконання роботи

1. Підготовка вихідних даних

- імпорт даних моніторингових спостережень (точкові, табличні, часові ряди);
- перевірка коректності даних, виявлення пропусків та аномалій;
- приведення даних до єдиної системи координат.

2. Первинний статистичний аналіз

- обчислення середніх, мінімальних та максимальних значень;
- аналіз дисперсії та варіації;
- побудова графіків змін показників.
- Виявлення глобального тренду
- побудова трендової поверхні;
- аналіз залежності значень показника від просторових координат;
- оцінка характеру тренду (лінійний, нелінійний).

3. Усунення глобального тренду (детрендування)

- обчислення залишкових значень;
- аналіз просторової структури залишків;
- підготовка даних до геостатистичного аналізу.

4. Картографічне відображення результатів

- створення карти глобального тренду;
- побудова карти залишкових значень;
- порівняльний аналіз.

У процесі виконання роботи студент повинен уміти:

- завантажувати точкові моніторингові дані в ArcGIS та QGIS;
- перевіряти коректність просторової прив'язки та атрибутів;
- виконувати попередній аналіз розподілу даних;
- виявляти викиди та аномальні значення, що можуть впливати на тренд.
- будувати графіки трендів уздовж осей X та Y;
- визначати напрям та характер глобального тренду (лінійний, квадратичний тощо);
- аналізувати поверхню тренду (Trend Surface);
- оцінювати доцільність вилучення глобального тренду перед геостатистичним моделюванням.
- виконувати локальний аналіз змін показника в межах окремих ділянок;
- порівнювати локальні варіації з загальною тенденцією;
- визначати ділянки з підвищеною або пониженою інтенсивністю змін;

- інтерпретувати локальні тренди з позиції природних і техногенних факторів.
- використати інструмент Trend Analysis / Trend Surface;
- виконати аналіз трендів у модулі Geostatistical Analyst;
- підготувати карти трендової поверхні.
- використати інструменти аналізу трендів через Processing Toolbox (SAGA / GRASS);
- побудувати трендові поверхні;
- візуалізувати результати для подальшого аналізу.

Критерії оцінювання

- повнота теоретичного обґрунтування;
- правильність виконання тренд-аналізу;
- якість картографічних матеріалів;
- логічність і глибина висновків;
- відповідність звіту вимогам оформлення.

Рекомендована література: [1-5, 7, 11, 12-16, 19]

Лабораторна робота 6. Геостатистичний інструментарій при вирішенні моніторингових задач в ГІС

Метою роботи є сформулювати у студентів системне розуміння просторової автокореляції моніторингових даних, принципів побудови варіограм та застосування методів крігінгу для просторового прогнозування показників стану довкілля і земель.

Завдання роботи:

- засвоїти поняття просторової автокореляції;
- дослідити залежність значень показників від просторової відстані;
- навчитися будувати та інтерпретувати експериментальну варіограму;

- ознайомитися з методами Ordinary та Universal Kriging;
- порівняти результати інтерполяції IDW та Kriging у моніторингових задачах.

Просторова автокореляція – це властивість просторових даних, за якої значення показника в одній точці залежить від значень у сусідніх точках. Основний принцип просторової автокореляції формулюється як: *близькі об'єкти є більш подібними, ніж віддалені.*

У системах моніторингу просторова автокореляція відображає:

- природну неперервність процесів;
- зональність і регіональні закономірності;
- вплив джерел антропогенного навантаження.

Розрізняють:

- позитивну автокореляцію – подібні значення групуються;
- негативну автокореляцію – чергування високих і низьких значень;
- відсутність автокореляції – випадковий розподіл.

Варіограма – це функція, що описує зміну ступеня подібності значень показника залежно від просторової відстані між точками спостережень.

Основні елементи варіограми:

- nugget (пороговий ефект) – випадкова складова та похибки вимірювань;
- sill (плато) – рівень повної втрати просторової кореляції;
- range (радіус впливу) – відстань, на якій зникає автокореляція.

Моделювання варіограми є ключовим етапом геостатистичного аналізу.

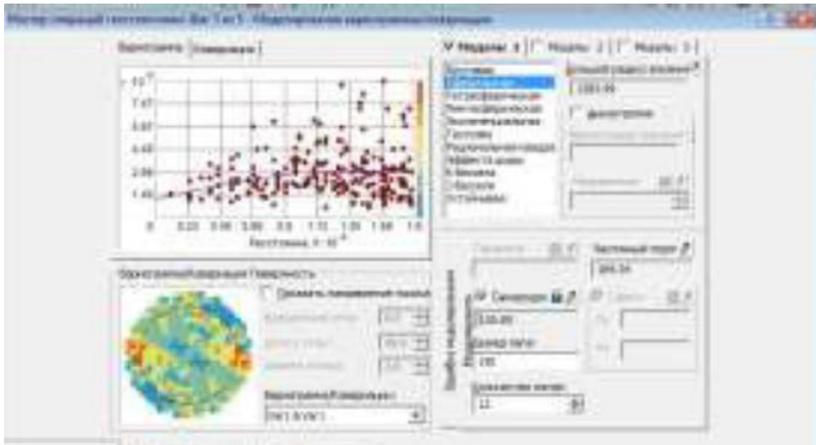


Рисунок 5. Моделювання автокореляційної варіограми

Крігінг – це метод просторової інтерполяції, який враховує просторову автокореляцію даних і забезпечує оптимальну (незміщену) оцінку значень у невідомих точках.

Основні види крігінгу:

- **Ordinary Kriging** – застосовується за відсутності глобального тренду;
- **Universal Kriging** – використовується за наявності трендової складової.

Перевагою крігінгу є можливість оцінки не лише значення показника, а й похибки прогнозу.

IDW (Inverse Distance Weighting) – детермінований метод інтерполяції, який базується лише на відстані між точками та не враховує автокореляцію.

Kriging – стохастичний метод, що базується на статистичній моделі просторової залежності.

Порядок виконання роботи

1. Підготовка точкових моніторингових даних.
2. Аналіз просторового розподілу показників.
3. Побудова експериментальної варіограми.
4. Підбір теоретичної моделі варіограми.
5. Виконання Ordinary Kriging.
6. Виконання Universal Kriging.

Результати аналізу просторової автокореляції та крігінгу використовуються для:

- прогнозування стану довкілля;
- оцінки ризиків деградації земель;
- оптимізації мережі моніторингових спостережень;
- підтримки управлінських рішень.

Таблиця 9

Порівняння IDW та Kriging у моніторингових задачах

Критерій	IDW	Kriging
Просторова автокореляція	Не враховується	Враховується
Оцінка похибки	Відсутня	Присутня
Складність	Низька	Висока
Точність прогнозу	Обмежена	Висока

У процесі виконання роботи студент повинен уміти:

- будувати та аналізувати:
 - експериментальну варіограму;
 - теоретичні моделі варіограми;
- визначати параметри варіограми (nugget, sill, range);
- оцінювати наявність просторової автокореляції;
- враховувати трендову складову при моделюванні.
- виконувати інтерполяцію моніторингових даних з використанням:
 - методу IDW;
 - Ordinary Kriging;
 - Universal Kriging;
- створювати безперервні поверхні розподілу показника;
- будувати карти похибок та стандартних відхилень;
- порівнювати результати різних методів інтерполяції.
- виконати геостатистичне моделювання;
- візуалізувати результати інтерполяції;
- оцінити точність отриманої поверхні.

Критерії оцінювання

- коректність геостатистичного аналізу;
 - якість побудованих карт;
 - глибина інтерпретації результатів;
 - обґрунтованість висновків;
 - відповідність звіту методичним вимогам.
- Рекомендована література:** [1-5, 7, 11, 12-16, 19]

Лабораторна робота 7. Побудова картографічної моделі з використанням геостатистичного інструментарію.

Метою роботи є формування у студентів комплексне розуміння процесу побудови картографічних та геопросторових моделей на основі геостатистичних методів з урахуванням анізотропії, а також навчити оцінювати якість і точність отриманих моделей.

Основні завдання:

- поглибити знання про просторову структуру моніторингових даних;
- дослідити явище анізотропії та його вплив на результати моделювання;
- навчитися визначати параметри анізотропного еліпса;
- виконати геостатистичну інтерполяцію з урахуванням анізотропії;
- здійснити перехресну перевірку та оцінити точність моделі;
- побудувати геопросторову модель розподілу забруднення.

Картографічна модель у моніторинговій ГІС – це узагальнене просторове відображення розподілу досліджуваного показника, отримане на основі математичних і статистичних методів аналізу просторових даних.

Геопросторова модель поєднує:

- просторову структуру даних;
- статистичні закономірності;
- прогностичну складову;
- оцінку невизначеності результатів.

Такі моделі є основою для екологічного прогнозування та прийняття управлінських рішень.

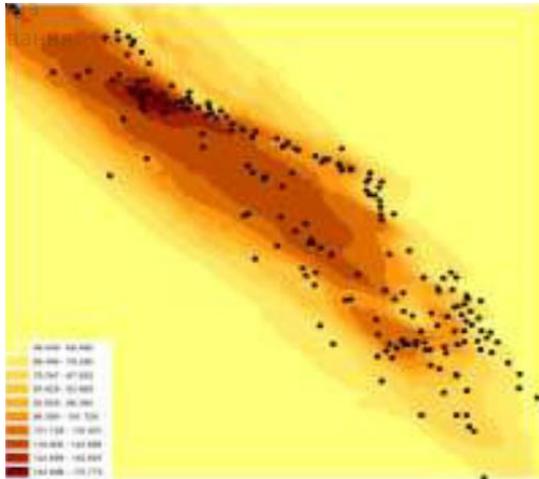


Рисунок 6. Геопросторова модель забруднення, побудована за допомогою геоestatистичного інструментарію

Анізотропія – це властивість просторового процесу, за якої характер просторової залежності змінюється залежно від напрямку. На відміну від ізотропії, де кореляція є однаковою в усіх напрямках, анізотропні процеси мають виражену напрямну структуру.

Причини виникнення анізотропії у моніторингових даних:

- напрямком поверхневого або підземного стоку;
- переважаючі вітри;
- геоморфологічні особливості;
- антропогенні лінійні об'єкти (дороги, канали).

Для опису анізотропії використовують анізотропний еліпс, який характеризується такими параметрами:

- напрям головної осі (азимут);
- довжина великої осі (максимальна дальність автокореляції);
- довжина малої осі (мінімальна дальність автокореляції);
- співвідношення осей, що відображає ступінь анізотропії.

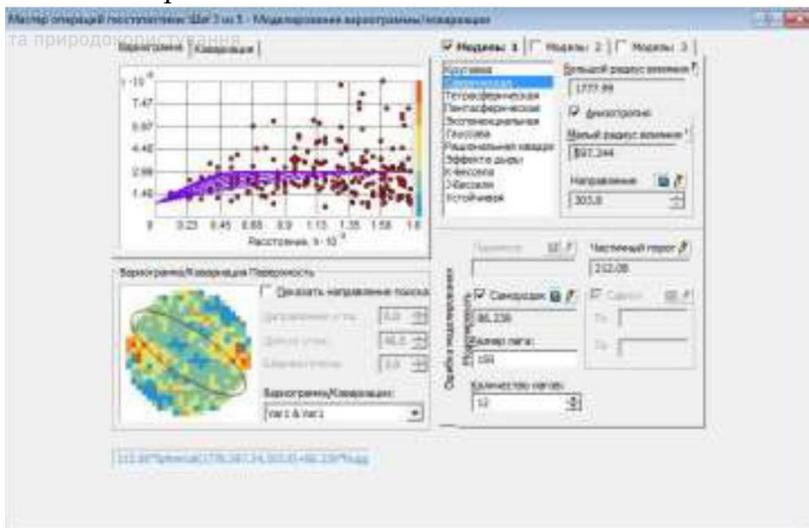


Рисунок 7. Врахування параметрів анізотропного еліпса

Коректне визначення параметрів анізотропного еліпса суттєво підвищує точність геостатистичних моделей.

Перехресна перевірка (Cross-validation) – це метод оцінювання якості геостатистичної моделі шляхом поетапного виключення окремих точок спостережень і порівняння прогнозованих значень з фактичними.

Основні показники оцінки точності:

- середня похибка (ME);
- середньоквадратична похибка (RMSE);
- стандартизована похибка;

- коефіцієнт відповідності моделі.

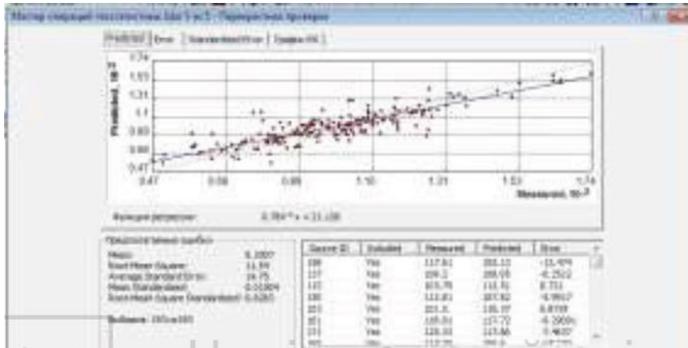


Рисунок 8. Перехресна перевірка

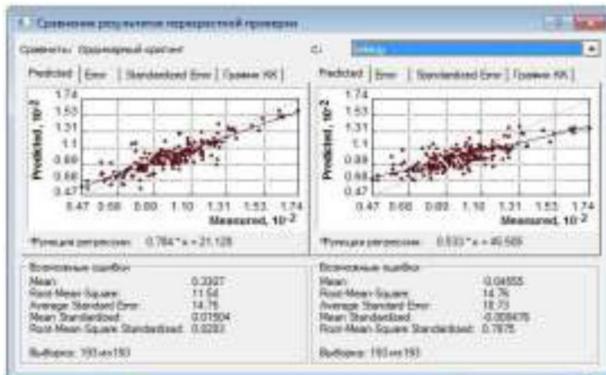


Рисунок 9. Порівняння геостатистичних моделей

Порядок виконання роботи:

1. Підготовка точкових даних про забруднення території.
2. Аналіз варіограм у різних напрямках.
3. Визначення параметрів анізотропного еліпса.
4. Побудова геостатистичної моделі з урахуванням анізотропії.
5. Створення картографічної моделі розподілу забруднення.

Порівняння геопросторових моделей: стандартні методи vs геостатистичний інструментарій

У практиці ГІС-моніторингу часто постає завдання порівняння геопросторових моделей, отриманих різними методами просторової інтерполяції. До стандартних (детерміністичних) методів належать Inverse Distance Weighting (IDW), Spline, Natural Neighbor, тоді як геостатистичні методи (Kriging - Ordinary, Universal, Indicator тощо) базуються на аналізі просторової автокореляції та варіограмному моделюванні.

Ключова відмінність між цими підходами полягає в тому, що стандартні методи не враховують статистичну структуру просторових даних і не дозволяють кількісно оцінити похибку прогнозу. Натомість геостатистичні моделі забезпечують формалізований опис просторової структури, дозволяють розраховувати стандартну похибку прогнозу та є статистично обґрунтованими.

Критерії порівняння геопросторових моделей

Порівняння моделей здійснюється за такими критеріями: візуальна узгодженість результатів, статистична точність (ME, RMSE), адекватність відображення просторових трендів та анізотропії, наявність карти похибок і придатність результатів для прийняття управлінських рішень у системах моніторингу.

Реалізація порівняння моделей в ArcGIS (Geostatistical Analyst)

У ArcGIS порівняння реалізується в межах модуля Geostatistical Analyst. Користувач може будувати альтернативні моделі (IDW, Kriging, Spline), виконувати перехресну перевірку (Cross Validation), аналізувати статистичні показники точності та порівнювати поверхні прогнозу разом із картами стандартної похибки. Інтерактивне налаштування параметрів варіограми дозволяє безпосередньо оцінювати вплив структури просторових даних на якість моделі.

Реалізація порівняння моделей у QGIS

У QGIS порівняння здійснюється з використанням інструментів Processing Toolbox та модулів SAGA GIS і GRASS GIS. Стандартні методи інтерполяції доступні безпосередньо, а геостатистичні - через модулі Kriging. Оцінка точності виконується шляхом окремого аналізу похибок, що потребує більшої аналітичної участі користувача, але забезпечує гнучкість і прозорість моделювання.

Значення порівняння моделей для систем моніторингу

Порівняння геопросторових моделей дозволяє обґрунтовано обрати метод інтерполяції, підвищити достовірність картографічних прогнозів, зменшити ризик помилкових управлінських рішень і забезпечити наукову коректність результатів моніторингових досліджень.

У процесі виконання роботи студент повинен уміти:

- будувати експериментальну варіаграму;
- підбирати адекватну теоретичну модель варіаграми;
- визначати параметри варіаграми (nugget, sill, range);
- аналізувати напрямні властивості процесу анізотропії;
- налаштовувати параметри анізотропного еліпса.
- виконувати інтерполяцію методом: Ordinary Kriging; Universal Kriging;
- створювати карту прогнозованих значень; карту стандартної похибки;
- виконувати перехресну перевірку результатів;
- оцінювати якість моделі за статистичними показниками.

Критерії оцінювання

- правильність геостатистичного моделювання;
- якість картографічних моделей;
- обґрунтованість аналізу;
- глибина висновків;
- відповідність звіту методичним вимогам.

Рекомендована література: [1-5, 7, 11, 12-16, 19]

3. Рекомендована література

Основні джерела

1. Павленко Л. А. Геоінформаційні системи : навч. посіб. Харків : ХНЕУ, 2013. 260 с.
2. Зацерковний В. І., Бурачек В. Г., Железняк О. О., Терещенко А. О. Геоінформаційні системи і бази даних : монографія. Кн. 1. Ніжин : НДУ ім. М. Гоголя, 2014. 492 с.
3. Зацерковний В. І., Бурачек В. Г., Железняк О. О., Терещенко А. О. Геоінформаційні системи і бази даних : монографія. Кн. 2. Ніжин : НДУ ім. М. Гоголя, 2017. 237 с.
4. Застосування ГІС у природоохоронній справі на прикладі відкритої програми QGIS : навч. посіб. / О. Часковський, Ю. Андрейчук, Т. Ямелинець. Львів : ЛНУ ім. Івана Франка ; Простір-М, 2021. 228 с.
5. ДСТУ 8302:2015. Інформація й документація. Бібліографічне посилання: загальні положення та правила складання. [Чинний від 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
6. Географічна інформаційна система УкрНДНЦ. Введення в інфраструктуру просторових даних та геоінформаційні сервіси України. URL: <https://www.ukrndnc.org.ua>

Допоміжна література (англомовні джерела)

7. Bolstad P. GIS Fundamentals: A First Text on Geographic Information Systems. 6th ed. Ann Arbor : XanEdu Publishing Inc., 2019. 764 p.
8. Chang K.-T. Introduction to Geographic Information Systems. 8th ed. New York : McGraw-Hill Education, 2015.

9. Arlinghaus S., Kerski J. Spatial Mathematics: Theory and Practice through Mapping. Boca Raton : CRC Press, 2013.
10. Bivand R. S., Pebesma E., Gómez-Rubio V. Applied Spatial Data Analysis with R. 2nd ed. New York : Springer, 2013.
11. Longley P. A., Goodchild M. F., Maguire D. J., Rhind D. W. Geographic Information Systems and Science. 4th ed. Hoboken : Wiley, 2015.
12. Griffith D. A. Spatial Autocorrelation and Spatial Filtering: Gaining Understanding through Theory and Practice. New York : Springer, 2006.
13. Fotheringham S. A., Brunson C., Charlton M. Geographically Weighted Regression: The Analysis of Spatially Varying Relationships. Chichester : Wiley, 2002.

Література з геостатистики та просторового аналізу

14. Cressie N. Statistics for Spatial Data. Rev. ed. Hoboken : Wiley, 1993.
15. Pebesma E., Bivand R. Spatial Data Science with Applications in R. Boca Raton : CRC Press, 2023.
16. O'Sullivan A., Unwin D. J. Geographical Information Analysis. 2nd ed. Hoboken : Wiley, 2010

Література з ГІС та моніторингу довкілля

17. Springer Handbook of Geographic Information / ed. C. Jürgens et al. Cham : Springer, 2020.
18. Application of Remote Sensing and GIS in Natural Resources and Built Infrastructure Management / ed. V. P. Singh et al. Cham : Springer, 2024.
19. GIS and Environmental Monitoring: Applications in the Marine, Atmospheric and Geomagnetic Fields / S. Kolios et al. Cham : Springer, 2017.

Електронні ресурси та стандарти (форми доступу)

20. ESRI. ArcGIS Pro Geostatistical Analyst Documentation. URL: <https://pro.arcgis.com> (дата звернення: 05.02.2026).
21. QGIS Development Team. QGIS User Guide. URL: <https://docs.qgis.org> (дата звернення: 05.02.2026).
22. GRASS GIS Manual. URL: <https://grass.osgeo.org/documentation> (дата звернення: 05.02.2026).
23. SAGA GIS Documentation. URL: <https://saga-gis.sourceforge.net> (дата звернення: 05.02.2026).
24. Open Geospatial Consortium. OGC Standards Overview. URL: <https://www.ogc.org> (дата звернення: 05.02.2026).