

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ МЕДИЦИНИ
ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО

Факультет землевпорядкування та інфраструктурного розвитку

Кафедра геодезії і геоінформатики

Кваліфікаційна (дипломна) робота

освітнього ступеня «Магістр»

на тему: **«АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПОБУДОВИ ЦМР ЗАСОБАМИ
ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ»**

Спеціальність 193 «Геодезія та землеустрій»

Виконав: студент групи ЗВ-61

Кравчук Юрій Миколайович

Науковий керівник: к.е.н., доцент

Рій Іван Федорович

Рецензент: _____

Львів 2025

РЕФЕРАТ

Аналіз методів побудови ЦМР засобами геоінформаційних систем.
Кравчук Ю.М. Кваліфікаційна робота. Кафедра геодезії і геоінформатики. – Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького, 2025.

71 с. текстової частини, 40 рисунків, 30 літературних джерел, презентація.

У дипломній роботі проведено аналіз процесів введення просторових і атрибутивних даних у геоінформаційні системи та створення наборів геоданих для досліджуваної території. Встановлено, що точність і гнучкість імпорту даних залежать від типу джерела та формату. Використано дані геопорталу адміністративно-територіального устрою України для аналізу фізико-географічних характеристик місцевості. Створено векторизовані шари території методами ручного та напівавтоматичного дешифрування супутникових знімків із використанням спектральних індексів для точнішого визначення меж об'єктів. Проведено оверлейний аналіз історичних і сучасних даних та побудовано цифрову модель рельєфу з оцінкою точності висот. Дослідження підтвердило ефективність комбінованого підходу для створення точних геопросторових моделей, придатних для наукових та прикладних цілей, зокрема екологічного аналізу та землеустрою.

Ключові слова: QGIS, ЦИФРОВА МОДЕЛЬ МІСЦЕВОСТІ, ЦИФРОВА МОДЕЛЬ РЕЛЬЄФУ, ГОРИЗОНТАЛІ, ДЕРЖАВНА ГЕОДЕЗИЧНА МЕРЕЖА.

ЗМІСТ

	ВСТУП	6
1	ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ ЦИФРОВОЇ МОДЕЛІ МІСЦЕВОСТІ	8
1.1	Вступ до цифрової моделі місцевості (ЦММ)	8
1.2	Поняття цифрової моделі рельєфу	11
1.3	Напрями використання цифрової моделі рельєфу	17
1.4	Джерела даних для цифрового моделювання рельєфу	20
2	ОСОБЛИВОСТІ РОЗТАШУВАННЯ ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ВОДНО-БОЛОТНОГО УГІДДЯ “БАКОТСЬКА ЗАТОКА”	24
3	ОЦІНКА ПОБУДОВАНОЇ ЦМР ЗАСОБАМИ ГІС QGIS	30
3.1	Основні налаштування ГІС. Створення векторного шару території досліджень в QGIS ручним дешифруванням	30
3.2	Створення векторного шару території досліджень в QGIS напіваавтоматичним дешифруванням	36
3.3	Імпортування даних SRTM в ГІС продукт	46
3.4	Створення цифрової моделі рельєфу території досліджень	49
3.5	Аналіз відповідності абсолютних висот ізоліній створеного рельєфу та пунктів ДГМ	58
4	ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	62
	ВИСНОВКИ	67
	БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	69

ВСТУП

Рельєф є одним із ключових факторів, що визначають перебіг природних процесів і впливають на розвиток ландшафтно-геофізичних явищ, розподіл потоків речовини та енергії, формування ерозійних процесів. Для його дослідження неможливо охопити польовими зніманнями кожен ділянку поверхні, тому широко застосовуються методи моделювання, інтерполяції та цифрового відтворення. Цифрові моделі рельєфу та місцевості (ЦМР/ЦММ) відображають геопросторові характеристики поверхні, дозволяють аналізувати морфометричні параметри, моделювати поверхневий стік, оцінювати ерозійну небезпеку та визначати стійкість ландшафтів.

Сучасні ГІС-технології, зокрема QGIS, ArcGIS та інші програмні продукти, забезпечують високий рівень функціональності для створення цифрових моделей на основі даних стереоскопічних та інтерферометричних космічних знімків, SRTM, а також цифрових топографічних карт, що містять ізолінії, позначки висот та інші дані про рельєф. Цифрові моделі широко застосовуються у геодезичних, землевпорядних та проектних роботах, оскільки забезпечують точне представлення території та полегшують прийняття проектних рішень.

Метою дослідження є створення цифрової моделі місцевості (або рельєфу) засобами ГІС-технологій та оцінка її точності за висотними характеристиками геодезичних пунктів ДГМ на прикладах території Бакотської затоки.

Об'єктом дослідження є цифрова модель місцевості/рельєфу відповідних територій, а предметом — особливості її створення, налаштування та перевірки просторових характеристик.

У рамках роботи було вирішено такі завдання:

- з'ясувати теоретичні основи створення цифрових моделей рельєфу та місцевості;
- побудувати ЦММ/ЦМР та тематичні векторизовані шари за різними джерелами вихідних даних;

- здійснити порівняння абсолютних висот отриманих моделей із висотами пунктів ДГМ;
- оцінити оптимальність розміщення окремих видів земельних ресурсів з урахуванням крутизни схилів.

Методи дослідження охоплюють загальнонаукові методи аналізу, синтезу, порівняння, моделювання і прогнозування; конкретно-наукові — порівняльно-географічний, статистичний та розрахунково-конструктивний; спеціальні — картографічний та геоінформаційний. Додатково застосовано принципи системного підходу та багатофункціональності ГІС.

У роботі порівняли різні джерела даних для побудови ЦММ/ЦМР, аналізі відповідності їх висотних характеристик пунктам ДГМ та визначенні об'єктивності використання даних SRTM і цифрових карт для створення моделей. Це також дозволило оцінити вплив морфометричних параметрів рельєфу на оптимальність використання земель.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості їх застосування при створенні цифрових моделей місцевості для інших територій, при плануванні землекористування, формуванні баз геоданих та підготовці проектної документації. Отримані рекомендації сприятимуть вибору найбільш точних джерел просторової інформації та підвищенню якості проектних рішень.

1. ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ ЦИФРОВОЇ МОДЕЛІ МІСЦЕВОСТІ

1.1 Вступ до цифрової моделі місцевості (ЦММ)

Цифрова модель місцевості (ЦММ) є сучасним високотехнологічним інструментом геодезії, картографування та просторового аналізу, що забезпечує детальне тривимірне відтворення рельєфу та елементів території. Вона формується на основі точних координатних та висотних даних, що уможливорює створення високодеталізованих моделей. ЦММ широко застосовують у будівництві, містобудуванні, екологічному моніторингу, транспортному плануванні та інженерно-геодезичних дослідженнях.

Концепція цифрового моделювання сформувалася разом із розвитком обчислювальної техніки та методів цифрової обробки геоданих. Подальше удосконалення технологій стало можливим завдяки впровадженню лазерного сканування (LiDAR), супутникової фотограмметрії, даних дистанційного зондування з БПЛА, GNSS-технологій і результатів радарної інтерферометрії (InSAR), що забезпечує можливість аналізу деформацій поверхні в динаміці.

Створення ЦММ охоплює кілька ключових етапів, серед яких важливе значення мають методи знімання та подальшого картографування. Лазерне сканування надає високоточну інформацію про поверхню, тоді як аерофотознімання та знімання з БПЛА дозволяють оперативно охоплювати значні площі з високою роздільною здатністю. Подальша обробка даних здійснюється у спеціалізованих програмних середовищах — ArcGIS Pro, QGIS, Global Mapper, Agisoft Metashape, Pix4D та ін., які забезпечують інтерполяцію, побудову TIN-моделей, тривимірну візуалізацію, аналіз ухилів, експозицій, гідрологічне моделювання та оцінку природних і техногенних ризиків.

ЦММ є базовим елементом інженерних вишукувань і просторового планування. Висока точність моделей забезпечує можливість обґрунтованого проектування будівельних об'єктів, транспортних мереж, гідротехнічних

споруд, визначення обсягів земляних робіт, оцінювання технічних ризиків та адаптації рішень до реальних умов території. У топографічних роботах ЦММ застосовується для аналізу рельєфу, прогнозування ерозійних і зсувних процесів та оцінювання природних загроз.

У галузі екологічного моніторингу цифрові моделі використовують для дослідження трансформації ландшафтів, аналізу антропогенного навантаження, моделювання підтоплень та оцінювання ефективності природоохоронних заходів. Значного поширення набувають динамічні моделі, що формуються шляхом інтеграції ЦММ із безпілотними системами спостереження та супутниковими даними.

ЦММ зазвичай містить кілька структурних компонентів: модель рельєфу, цифрові шари топографічних об'єктів, адміністративно-територіальні межі, демографічні дані, моделі перешкод (будівлі, інженерні споруди, рослинність). Цифрова модель рельєфу (ЦМР) відображає виключно фізичний рельєф без урахування об'єктів, тоді як цифрова модель поверхні (ЦМП) включає всі нерівності, спричинені забудовою та рослинністю.

Сучасний рівень розвитку технологій дає змогу отримувати моделі з роздільною здатністю до сантиметрів, інтегрувати їх у системи машинного навчання, цифрові двійники територій, CAD/BIM-середовища, 3D-кадастр та інші інтелектуальні системи керування територіями.

Автоматизація топографо-геодезичного виробництва стала основою розвитку цифрового картографування. Воно розглядається як комплексний технологічний процес, що включає збирання, обробку, систематизацію просторових даних, формування цифрових моделей, їхнє оновлення та використання для створення аналітичних та картографічних матеріалів.

У науковому та технологічному аспектах цифрове картографування є принципово новим підходом, який надає змогу формувати багатокомпонентні цифрові моделі території. У цьому контексті традиційні топографічні плани й карти виступають похідними продуктами, отриманими на основі ЦММ.

Цифрова модель місцевості є комплексом просторової інформації про рельєф, топографічні елементи та об'єкти природного й штучного походження, а також їхні просторові взаємозв'язки. У її структурі виокремлюють цифрові моделі рельєфу, моделі поверхні, моделі ситуації, забудови та окремих топографічних об'єктів. Особливістю ЦММ є точність, структурованість та наявність як геометричної, так і семантичної інформації.

Характерною рисою моделі є дискретна форма подання даних, що забезпечує можливість їх подальшої автоматизованої обробки та аналізу. Головними параметрами, що визначають придатність моделі, є точність, адекватність, безперервність, реалістичність, масштабованість та можливість оперативного оновлення.

Сучасні ЦММ формують на основі високотехнологічних джерел даних, зокрема LiDAR-сканування (стаціонарного, мобільного та аерознімального), фотограмметричних матеріалів БПЛА, супутникових зображень високої роздільної здатності, GNSS/RTK-вимірювань та даних інтерферометрії (InSAR).

У новітніх ГІС-середовищах ЦММ інтегрується у цифрові двійники, системи автоматизованого проєктування, 3D-кадастрові моделі, просторово-аналітичні платформи для прогнозування природних небезпек, таких як зсуви, підтоплення чи ерозія, що робить її ключовим інструментом сучасного просторового аналізу.

Процес створення ЦММ розпочинається з підготовки та збору вихідних просторових даних, серед яких провідну роль відіграють геодезичні вишукування, аерофотознімання та, за необхідності, лазерне сканування. На основі цих матеріалів формується масив точок із координатними та висотними характеристиками, що становить основу для побудови точної та деталізованої моделі.

Подальше моделювання здійснюється шляхом інтерполяції та формування тривимірної структури, яка відображає рельєф та ситуацію території. Важливо забезпечити повноту відтворення ключових топографічних особливостей,

зокрема конфігурації схилів, меж водних об'єктів, інженерної інфраструктури та інших компонентів місцевості.

Однією з основних вимог до ЦММ є висока точність вихідних даних, оскільки похибки у вихідних вимірюваннях можуть призвести до некоректних інженерних та проєктних рішень, що є критичним для містобудування, транспортного планування та технічного проєктування.

1.2 Поняття цифрової моделі рельєфу

Цифрове моделювання рельєфу є однією з базових функціональних можливостей сучасних геоінформаційних систем. Цифрова модель рельєфу (ЦМР) охоплює дві групи операцій: формування моделі за вихідними даними та подальше використання цієї моделі для аналізу, візуалізації й вирішення прикладних завдань. Під ЦМР розуміють цифрове подання тривимірної форми земної поверхні за допомогою впорядкованого набору дискретних висотних значень (аплікат Z), розташованих у вузлах регулярної або нерегулярної просторової мережі, або ж представлених у вигляді записів ізоліній — горизонталей, ізогіпс чи ізобатів.

Перші експерименти зі створення ЦМР належать до етапу становлення геоінформатики та автоматизованої картографії у 1960-х роках ХХ ст. З того часу розроблено широкий спектр алгоритмів моделювання поверхонь, накопичено великі регіональні, національні та глобальні масиви висотних даних (SRTM, ASTER GDEM, EU-DEM), а також сформовано методологію їх використання у наукових, інженерних та прикладних дослідженнях.

Оскільки відобразити кожен точку земної поверхні в моделі неможливо, цифрова модель рельєфу передає лише вибрані висотні точки, на основі яких за допомогою математичних методів здійснюється реконструкція рельєфу. В англomовній літературі загальноприйнятим терміном є *Digital Elevation Model (DEM)*.

У картографічній термінології ЦМР визначають як тривимірну цифрову модель, що містить координати та висоти або глибини рельєфу. ЦМР може бути подана у таких основних формах:

- **векторні лінії** — горизонталі чи інші ізолінії з рівним або нерівним інтервалом;
- **регулярна матриця висот (GRID)** — подання рельєфу на регулярній сітці квадратів, прямокутників або трикутників із заданими значеннями Z у вузлах;
- **коміркова модель (cell-based)** — коли кожний елемент сітки має постійне значення висоти;
- **нерегулярна тріангуляційна мережа (TIN — Triangulated Irregular Network)** — модель, побудована на базі точок з висотами та лініями перелому рельєфу, де здійснюється тріангуляція з урахуванням особливостей поверхні.

Найбільш суттєвим недоліком регулярних матриць висот є те, що структурно рівномірна сітка не відповідає природній структурі рельєфу. У таких моделях усі точки вважаються рівнозначними, що призводить до можливого пропуску ключових морфологічних елементів рельєфу — тальвегів, вододілів, перегинів та розривів схилів. Тому вибір оптимального кроку сітки є критично важливим: його збільшення знижує точність моделі, а зменшення значно збільшує обсяг і складність обробки даних.

За організацією вихідних даних ЦМР поділяють на моделі з розміщенням опорних точок:

- у вузлах регулярних квадратних, прямокутних або трикутних сіток;
- за горизонталями;
- у рамках нерегулярної тріангуляційної мережі TIN.

У XXI столітті джерела даних для створення ЦМР істотно розширились. Сьогодні найбільш поширеними є:

- **GNSS-спостереження**, що забезпечують точні висотні дані на опорних пунктах;

- **аерофотознімання з безпілотних літальних апаратів (БПЛА)** з роздільною здатністю до 1 см/пікс., що дозволяє отримувати моделі зі СКО < 5–10 см;
- **лазерне сканування (LiDAR)** — наземне, мобільне та повітряне, яке забезпечує надвисоку точність та можливість отримання «прозорої» моделі території завдяки проникненню лазерного імпульсу крізь рослинність;
- **космічні місії нового покоління (TanDEM-X, ICESat-2)**, які формують глобальні моделі рельєфу з метричною або субметричною точністю.

Завдяки використанню сучасних ГІС-платформ (ArcGIS Pro, QGIS, ArcGIS Online, Global Mapper) ЦМР можуть оперативно застосовуватись для моделювання стоку, оцінки схилів, прогнозування небезпечних процесів (зсувів, підтоплення), інженерного проєктування, 3D-візуалізацій та геоаналітики. У містобудуванні та землеустрої цифрові моделі рельєфу слугують основою для створення цифрових двійників територій, що істотно підвищує якість прийняття управлінських і проєктних рішень.

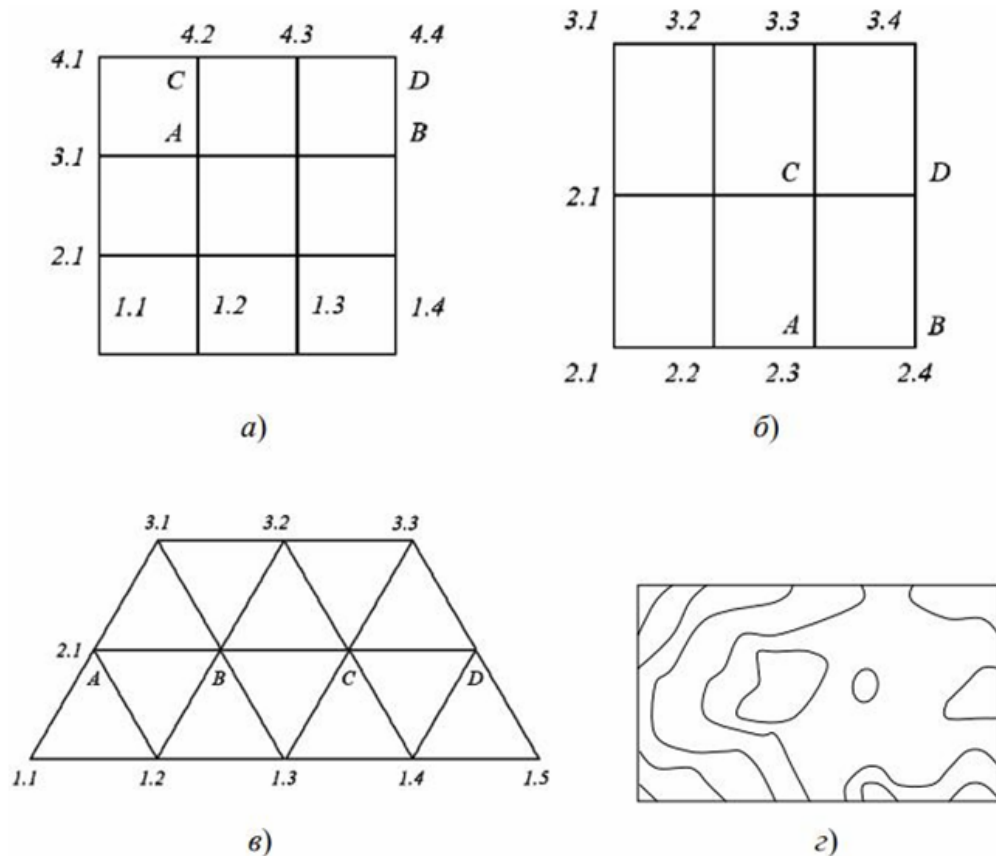


Рис. 1.1 Схеми організації вихідних даних для ЦМР а) по квадратах; б) по

прямокутникам; в) по трикутникам; г) по горизонталям.

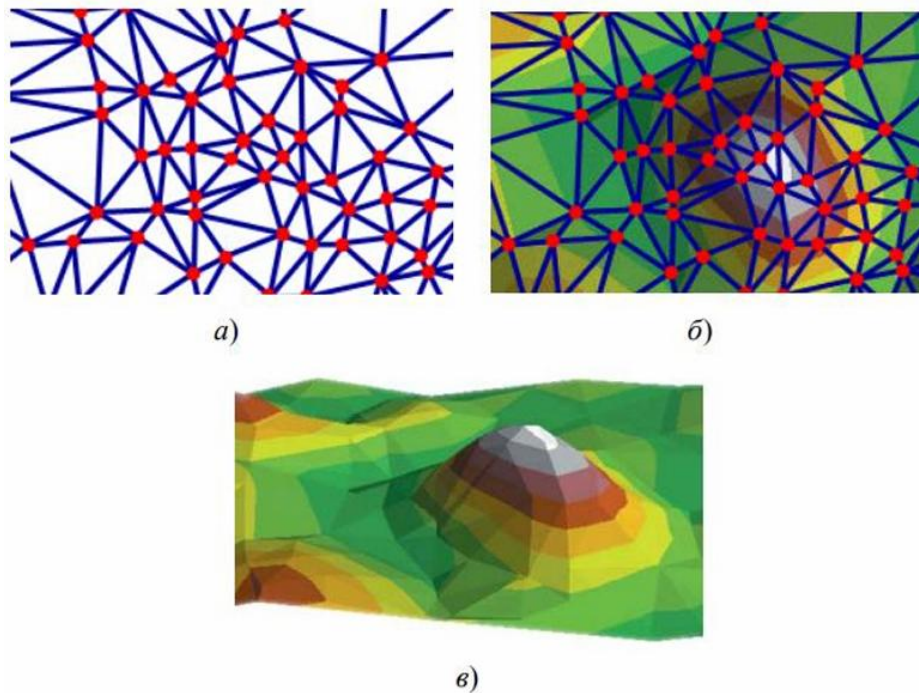


Рис. 1.2. Тривимірне відображення триангуляційної моделі рельєфу: а) триангуляція; б) триангуляційна модель рельєфу; в) тривимірне відображення рельєфу.

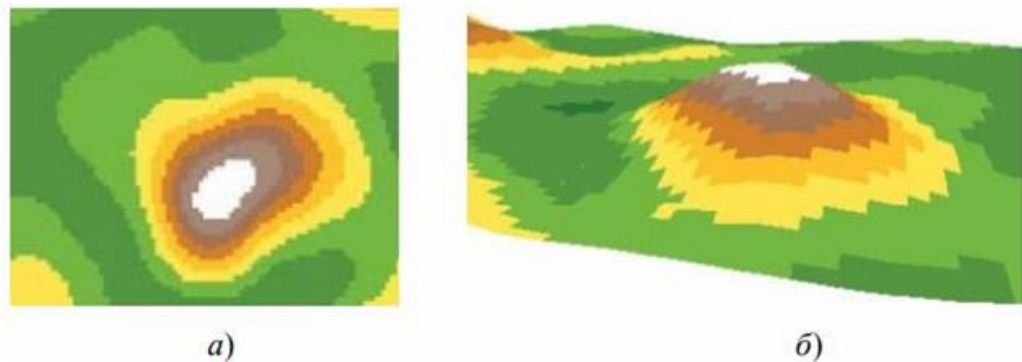


Рис. 1.3. Тривимірне відображення регулярної моделі рельєфу: а) регулярна мережа; б) тривимірне відображення рельєфу.

До різновидів цифрових моделей рельєфу також належать:

- **напіврегулярні моделі** у вигляді систем взаємопаралельних профілів;
- **моделі з опорними точками вздовж поперечників** до заданих ліній;
- **моделі з набором точок уздовж горизонталей** з рівним кроком;
- **моделі з випадковим (у геометричному сенсі) розташуванням опорних точок**, зібраних у характерних місцях рельєфу — на перегінах схилів, локальних екстремумах тощо.

Регулярні сітки мають важливу перевагу — вони дозволяють застосовувати прості алгоритми інтерполяції та значно спрощують генерацію різних похідних уявлень рельєфу, зокрема побудову горизонталей, затінення поверхні або розрахунок морфометричних параметрів.

Моделі у вигляді **нерегулярних тріангуляційних мереж (TIN)** забезпечують найточніше відображення складного, дискретного або різко пересіченого рельєфу, оскільки дозволяють враховувати лінії перелому схилів. Однак такі моделі мають суттєвий недолік — їх важко оновлювати. Будь-яка зміна у вихідних даних зазвичай потребує повного перепроєктування тріангуляції. Крім того, TIN-моделі складно узгоджувати з різними рівнями деталізації, що ускладнює їх використання для візуалізації у реальному часі.

У процесі формування нерегулярної ЦМР виникає потреба інтерполювати поверхню, яку, у загальному випадку, можна розглядати як функцію двох змінних — x та y . Для цього використовуються різні методи інтерполяції, а також процедури перетворення нерегулярних наборів точок у регулярні.

Основні методи інтерполяції рельєфу в ГІС

Найпоширенішими методами є:

- **інтерполяція на основі тріангуляції Делоне;**
- **кригінг (геостатистичні методи);**
- **метод зваженого середнього — інтерполяція Шепарда;**
- **поліноміальне та кусочно-поліноміальне згладжування.**

Метод тріангуляції полягає у побудові в межах заданої території набору трикутників, що не перекривають один одного, вершинами яких є опорні точки з відомими висотами. У середині кожного трикутника поверхня задається лінійною або поліноміальною функцією, коефіцієнти якої визначаються за значеннями у вершинах. Підвищення степеня полінома дозволяє досягти необхідної гладкості побудованої поверхні. У більшості випадків застосовується тріангуляція Делоне — метод, який забезпечує оптимальні геометричні властивості трикутників.

Однією з основних проблем моделювання рельєфу є його природна нерегулярність. Реальні поверхні часто містять розриви, переломи схилів, ділянки з різко змінним градієнтом, тоді як математичні моделі зазвичай описують гладкі функції. У зв'язку з цим нерідко використовують комбіновані підходи, коли рельєф описується набором різних математичних моделей, що стикаються між собою у визначених межах.

Особливості застосування методів інтерполяції. Порівняльний аналіз показує, що **інтерполяція на основі тріангуляції Делоне** є однією з найшвидших і вже на стадії побудови моделі дозволяє виявляти аномальні або помилкові значення висот.

Кригінг дає високоякісні результати навіть за невеликої кількості точок, оскільки враховує просторову автокореляцію. Проте за певної конфігурації даних може спричиняти появу небажаних осциляцій (піків або западин), які усуваються застосуванням «згладжувального» варіанту методу.

Перевагою **методу узагальненого зваженого середнього** є локальність: на значення інтерпольованої функції у конкретній точці практично не впливають віддалені опорні точки. Цей метод є ефективним за щільного розміщення даних. Крім того, змінюючи вагові коефіцієнти та параметри поліномів, можна інтерактивно досягти виду поверхні, що найкраще відповідає очікуванням спеціаліста.

Обробка рельєфу, поданого ізолініями. На практиці вихідні дані про рельєф часто представлені у вигляді ізоліній. Це ускладнює їх використання, оскільки ізолінії необхідно перетворити на регулярну або нерегулярну сітку. У сучасних ГІС реалізовано процедури автоматичного перетворення ізоліній на точкові набори. Для цього спочатку формують нерегулярну множину точок шляхом оцифрування вузлів або визначення перетинів ізоліній із заданою сіткою. Потім на основі отриманих даних виконується інтерполяція та побудова регулярної поверхні.

Сучасні підходи до створення щільних ЦМР. Сучасні спеціалізовані програмні продукти дозволяють формувати високодеталізовані цифрові моделі

поверхні автоматично — за матеріалами аерофотознімання та лазерного сканування (LiDAR). Результатом є **щільна хмара точок**, у якій кожна точка має три координати та, за потреби, додаткову інформацію (інтенсивність відбиття, RGB-значення, класифікацію).

1.3 Напрями використання цифрової моделі рельєфу

Останніми роками цифрові дані рельєфу стають дедалі доступнішими, а їх використання тісно пов'язане з розвитком комп'ютерних технологій та геоінформаційних систем. Цифрові моделі рельєфу (ЦМР) забезпечують універсальний інструмент для аналізу природних процесів, моделювання геоморфологічних структур та побудови різноцільових карт. Сучасні дослідження вимагають високої точності просторової прив'язки, тому ЦМР дедалі частіше застосовують замість традиційних топографічних карт, які нерідко є менш доступними, ніж дані дистанційного зондування.

Одним із найбільш поширених і відкритих джерел цифрової інформації про рельєф є результати радарної топографічної зйомки SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission), виконаної NASA у лютому 2000 року протягом 11 днів. Під час місії зібрано понад 12 ТБ даних, обробка яких триває й сьогодні. SRTM охоплює більшу частину земної поверхні, за винятком високих широт: понад 60° пн. ш. та 54° пд. ш., а також океанічних акваторій. Дані для територій, розташованих північніше 60° пн. ш., були сформовані у 2009 р. Значна частина матеріалів поширюється у відкритому доступі.

Сьогодні найчастіше використовують дані SRTM із роздільною здатністю 1 арксекунда (30 м). Вони подаються у вигляді квадратів розміром 1°×1°. Додатковий нижній ряд і права колонка дублюються на сусідніх аркушах, що запобігає появі областей без значень під час злиття. Формат *.HGT є 16-бітним растром без заголовка. Числове значення кожного пікселя відповідає абсолютній висоті точки в метрах над рівнем моря, а код -32768 позначає відсутність даних

(no data). Назва кожного квадрату відповідає географічним координатам його лівого нижнього кута.

Цифрові моделі рельєфу знаходять широке застосування у наукових дослідженнях та практичних роботах, зокрема використовуються для:

- візуалізації рельєфу та створення тривимірних моделей місцевості;
- побудови гідрографічної мережі;
- аналізу потенційно затоплюваних територій під час паводків;
- генерування карт тіньового (освітленого) рельєфу для виявлення структур розривної тектоніки;
- пошуку ділянок, потенційно сприятливих для розсіпних родовищ корисних копалин (зокрема золота).

Об'ємні моделі рельєфу надають широкі можливості візуального налаштування: зміну градієнтного забарвлення, параметрів освітлення, напрямку погляду, положення віртуального джерела світла тощо.

Обробка та підготовка вихідних даних SRTM

Початкові дані місії SRTM у форматі *.HGT проходять такі етапи обробки:

1. **Об'єднання аркушів** у крупніші полігони, наприклад у номенклатурні листи масштабу 1:1 000 000.
2. **Конвертування HGT у ASCII ArcGRID.**
3. Створення растрового шару ArcGIS GRID через інструмент ArcToolbox: Conversion Tools → To Raster → ASCII to Raster.
4. **Перепроєктування GRID** у систему координат Transverse Mercator, датум WGS84.

Побудова гідромережі за ЦМР

Однією з поширених проблем у ГІС є невідповідність векторних шарів гідромережі даним космічних знімків. Ця розбіжність усувається за допомогою інструментів модуля «Hydrology», які дозволяють формувати гідромережу безпосередньо з цифрової моделі рельєфу.

Стандартний алгоритм побудови гідромережі включає:

- створення растру напрямку стоку (Flow Direction);

- обчислення сумарного стоку (Flow Accumulation);
- виокремлення ліній водотоків на основі порогового значення показника Flow Accumulation.

Метод забезпечує високу точність формування гідромережі, однак може формувати розриви ліній водотоків, що найчастіше пов'язано із властивостями інтерполяції поверхні.

Побудова карт тіньового рельєфу. Карти тіньового рельєфу («відмивання рельєфу») застосовують для візуального підсилення структур рельєфу та уточнення геоморфологічних особливостей. Технологія базується на моделюванні штучного освітлення, коли для кожного пікселя розраховується його освітленість залежно від положення віртуального джерела світла.

Такі карти формують у програмах ArcGIS, Surfer або MicroDEM, що підтримують роботу з регулярними матрицями висот (GRID). Наприклад, у Surfer створення тіньового рельєфу виконується через інструмент Map → Shaded Relief Map. Елементи рельєфу, відвернені від джерела світла, виглядають темнішими. Освітлення під кутом 90° забезпечує рівномірність для гірських територій та підвищує контрастність рівнинних форм рельєфу.

Карти тіньового рельєфу мають значне геологічне значення, оскільки дозволяють ідентифікувати структури підвищеної сейсмічної небезпеки та уточнювати ознаки розривної тектоніки.

Цифрове моделювання та цифровізація геопросторових даних. Розвиток автоматизованих методів обробки спричинив формування нового напрямку — цифрового моделювання місцевості та створення цифрових геопросторових продуктів: цифрових моделей рельєфу (ЦМР) та цифрових моделей місцевості (ЦММ). Термін «цифрове моделювання» є синонімом «комп'ютерного моделювання» й передбачає застосування математичних алгоритмів і програмного забезпечення для відтворення просторових об'єктів.

Цифрування (digitizing, digitalization) — це перетворення аналогових даних у дискретну форму, придатну для обробки у комп'ютерних технологіях. На початкових етапах розвитку обчислювальної техніки співіснували аналогові та

цифрові обчислювальні машини. Аналогові машини працювали з безперервними сигналами та реалізовували обробку через спеціальні електронні схеми, у яких алгоритм був «жорстко» закладений у конструкцію. Цифрові машини натомість перетворювали аналогові сигнали у цифровий код і обробляли інформацію за допомогою програм, що забезпечувало універсальність і значно нижчу вартість.

З часом цифрові обчислювальні машини витіснили аналогові, і нині всі персональні комп'ютери є цифровими. Термін «цифровий» зберігся як характеристика типу даних: цифрові знімки, цифрові моделі, цифрова інформація тощо. Він означає, що дані подані у дискретній формі та призначені для автоматизованої обробки.

У геоінформації цифрове моделювання передбачає використання математичних алгоритмів та програмних засобів для побудови моделей реальних об'єктів і процесів.

1.4 Джерела даних для цифрового моделювання рельєфу

На практиці існує значна кількість способів і технологій створення цифрових моделей рельєфу (ЦМР), а джерела вихідних даних характеризуються різною природою та способом одержання. До них належать геодезичні роботи та топографічне знімання місцевості, стереофотограмметрична обробка фототеодолітних, аерофотознімків і космічних зображень, альтиметричне знімання рельєфу суші, промірні роботи та ехолотування підводного рельєфу акваторій, а також радіолокаційне знімання рельєфу льодовикового ложа та поверхонь інших небесних тіл.

Основна складність побудови ЦМР полягає в тому, що реальна земна поверхня є нерегулярною, з наявними розривами та різкими змінами форми, тоді як більшість математичних моделей описують гладкі та безперервні поверхні. У зв'язку з цим цифрові моделі рельєфу часто формують як сукупність різних математичних моделей, що стикаються в характерних точках, залежно від структури вихідних даних.

Просторова організація вихідних висотних даних також може суттєво відрізнятися. У літературі виділяють такі типи розташування опорних точок (крапок із відомими висотними відмітками):

1. **Нерегулярно розташовані точки**, отримані, зокрема, під час тахеометричного знімання.
2. **Структурно впорядковані точки**, положення яких відповідає морфології рельєфу (структурні лінії).
3. **Регулярно розташовані точки уздовж ліній**, що частково відображають структуру рельєфу (ізолінії, профілі, галси промірів).
4. **Регулярні мережі точок** (прямокутні, трикутні чи шестикутні сітки), характерні для результатів цифрової фотограмметрії або спеціальних видів майданного нівелювання.

Серед усіх джерел значну роль відіграють саме картографічні матеріали та матеріали аерокосмічного знімання. При цьому вказується тенденція до зростання використання даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та поступового зменшення ролі традиційних карт. Це пояснюється зростанням просторової роздільної здатності супутникових систем (до 1 м і менше), доступністю сучасних цифрових фотограмметричних станцій і появою нових методів одержання висот — зокрема радіолокаційної інтерферометрії.

Матеріали аерофото- та космічних знімачів широко застосовуються також для контролю якості та верифікації ЦМР. Для цього використовують чітко ідентифіковані на місцевості точки зі стереомоделей, точність яких зазвичай перевищує точність контрольованої моделі. Однак такі дані мають і певні недоліки: у районах щільної міської забудови або суцільної зімкнутості крон лісів значна частина автоматично отриманої моделі відображає геометрію забудови чи лісового намету, що потребує ручного коригування.

Незважаючи на стрімкий розвиток ДЗЗ, картографічні джерела все ще залишаються одним із основних способів отримання висотної інформації. Для потреб ЦМР використовують топографічні карти та плани (для суші), а також морські навігаційні та топовиметричні карти (для акваторій). Типова

технологія створення ЦМР з картографічних джерел базується на цифруванні горизонталей, висотних позначок і додаткових картографічних елементів, що відображають форми рельєфу (елементи гідрографії, обриви, зсуви, карстові форми тощо). За наявності цифрових топографічних карт використовуються відповідні шари просторових даних.

На сучасних загальногеографічних картах рельєф передають трьома основними засобами:

- системою горизонталей (ізогіпс),
- висотними позначками,
- допоміжними позамасштабними, лінійними та площинними знаками.

Горизонталі мають низку важливих переваг:

- можливість їх автоматичного формування за даними опорних точок;
- простоту цифрування шляхом ручного обведення або автоматичного трасування;
- зручність для одержання поздовжніх та поперечних профілів поверхні.

Разом з тим, горизонталі мають і суттєві обмеження. Оскільки вони одночасно виконують функції ліній рівних висот і засобу морфологічної передачі рельєфу, між цими функціями існує певна суперечність. Форми рельєфу передаються через характер малюнка горизонталей: плавні лінії відповідають м'яким формам, ламані — крутим або складним. Інструкції зі складання та редагування топографічних карт вимагають збереження цих властивостей, що накладає додаткові обмеження на цифрову обробку. Тому ГІС-програмне забезпечення має забезпечувати контроль геометричної коректності горизонталей: їх неперетинання, замкнутість та відповідність цифровому поданню.

Цифрова модель рельєфу (ЦМР) є формою цифрового подання тривимірної поверхні земної місцевості або інших об'єктів у вигляді впорядкованої множини дискретних висотних значень, розміщених у вузлах регулярної чи нерегулярної мережі, або у форматі цифрового набору горизонталей та інших ізоліній. Вона слугує базовою складовою сучасних

геоінформаційних систем, забезпечуючи можливість виконання широкого спектра інженерних, топографічних, гідрологічних, будівельних та екологічних завдань — від вертикального планування і побудови профілів до моделювання стоку, вододілів і оцінювання поширення забруднювачів.

Створення та аналіз ЦМР ґрунтуються на виборі адекватної математичної моделі, що значною мірою залежить від характеру рельєфу, типу вихідних даних та їх просторової організації. Тому важливими є коректний підбір вихідної інформації, методів інтерполяції та алгоритмів контролю точності, які забезпечують відповідність моделі реальній поверхні.

Сучасний розвиток технологій збирання просторових даних — лазерного сканування, аерофотознімання, використання БПЛА, GNSS-приймачів, супутникових знімків високої роздільності — разом із вдосконаленням програмних засобів опрацювання інформації сприяє підвищенню точності, деталізації та функціональних можливостей ЦМР. Це, у свою чергу, створює передумови для підвищення ефективності проектування, зменшення інженерних ризиків, оптимізації будівельних рішень та більш якісного управління природними ресурсами.

Таким чином, ЦМР виступає не лише інструментом для моделювання поверхні, а й важливою технологічною основою для впровадження інновацій у сфері землекористування, просторового планування, моніторингу довкілля та інженерних досліджень. Безперервний розвиток методів цифрового моделювання відкриває нові можливості для глибокого аналізу території та прийняття обґрунтованих рішень, що відповідають сучасним викликам і потребам суспільства.

2 ОСОБЛИВОСТІ РОЗТАШУВАННЯ ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ВОДНО-БОЛОТНОГО УГІДДЯ “БАКОТСЬКА ЗАТОКА”

Згідно з паспортом №136 від 29.07.2004 р., водно-болотне угіддя міжнародного значення має назву «Бакотська затока». Його природоохоронний статус визначено як водно-болотне угіддя міжнародного значення, і воно входить до складу Національного природного парку «Подільські Товтри». Адміністративно територія розташована у Хмельницькій області, Кам'янець-Подільському районі, Китайгородській територіальній громаді (Рис. 2.1), поблизу сіл Гораївка та Колодіївка, приблизно за 50 км на південний схід від м. Кам'янець-Подільський. Географічні координати центру ВБУ: 26°56' східної довготи та 48°35' північної широти.



Рис.2.1 Місцезнаходження Бакотської затоки згідно адміністративно територіального устрою.

Висоти над рівнем моря варіюються від 114 м до 121 м. Загальна площа угіддя складає 1590 га, що повністю належить до територій природно-

заповідного фонду. Бакотська затока є прісноводною затокою, утвореною в долині річки Дністер внаслідок побудови греблі ГЕС та створення Дністерського водосховища. Затока виникла після затоплення низинної ділянки річки і розташована в каньйоні, демонструючи типові природні комплекси верхнього Дністра як у рослинності, так і в тваринному світі.

Територія угіддя належить до Континентального біогеографічного регіону України та відіграє важливу роль у збереженні біорізноманіття басейну Дністра та Подільської височини. Тут зустрічаються характерні для регіону флора і фауна: водорості, прибережно-водні судинні рослини, а також у період гніздування — чапля сіра, лелека білий, шуліка чорний, беркут, боривітер степовий, ластівка сільська та інші. Під час весняних і осінніх міграцій та взимку спостерігаються гагара червоношия, чепура велика і мала, чернь чубата, гоголь, пірникоза велика, лунь польовий, підсоколик малий, сапсан, журавель сірий, чайка, коловодник болотяний, зимняк, підсоколик великий, кібчик, крижень, чернь морська, лелека та лебідь-шипун.

За геоботанічним районуванням ВБУ «Бакотська затока» належить до Покутсько-Медоборського округу букових, грабово-дубових та дубових лісів, справжніх та остепнених лук, лучних степів Південнопольсько-Західноподільської підпровінції широколистяних лісів і евтрофних боліт Центральноєвропейської провінції широколистяних лісів. Басейнова приналежність – середня ділянка басейну Дністра, верхів'я Дністровського водосховища.

Угіддя розташоване на території Волино-Подільського тектонічного блока, з поверхневим заляганням порід кристалічного фундаменту. Складається з вапняків, мергелів, пісковиків, сланців, гранітів та гнейсів, перекритих лесовими відкладеннями. Рельєф – підвищена полого-хвиляста лесова рівнина. Фізико-географічно територія відноситься до Західноподільського району Подільської Лісостепової зони. Ґрунти – темно-сірі опідзолені та чорноземи опідзолені, переважно на лесових породах.

Бакотська затока утворилася у 1976 р. після створення Дністровського водосховища довжиною 195 км і об'ємом 3,0 км³, до якого нижче примикає буферне водосховище довжиною 17 км і об'ємом 0,0309 км³. Мінералізація води у верхньому Дністрі коливається від 205 до 570 мг/л, вода належить до гідрокарбонатно-кальцієвого класу II типу, якість води загалом добра, з можливістю використання для водозабору смт. Стара Ушиця.

Клімат помірно континентальний, з м'якою зимою та теплим, вологим літом. Середня температура січня $-5,6^{\circ}\text{C}$, липня $+18,9^{\circ}\text{C}$, період із температурою понад $+10^{\circ}\text{C}$ – близько 169 днів. Ріка Дністер бере початок на північно-східних схилах Українських Карпат, впадає у Дністровський лиман Чорного моря, довжина - 1351 км, площа басейну – 72,50 тис. км², середньорічний стік – 9,50 км³ ($\approx 300\text{ м}^3/\text{с}$). Живлення змішане, з переважанням снігового над дощовим.

У межень глибина Бакотської затоки – 34 м, ширина – 1700 м, швидкість течії – 0,7–3,0 м/с. У повінь вода може підніматися на 6 м, не виходячи за береги каньйону. Узимку затока замерзає, проте на межі річки вода залишається вільною. Вугіддя живиться невеликими струмками та джерелами з вапнякових схилів. Середньорічна кількість опадів – близько 532 мм, найбільша в літні місяці.

Водний режим Бакотської затоки значною мірою залежить від стоку Дністра та роботи Дністровського водосховища з гідроелектростанцією, при цьому при регулюванні об'ємів попусків враховуються екологічні потреби Верхнього Дністра. Екотопологічне різноманіття угіддя включає лісові, лучно-степові, степові, кущові, кальцепетрофітні, гідрофітні, синантропні та антропічні комплекси.

Флора ВБУ налічує 474 види зі 100 родин, з яких 109 видів адвентивні, належать до 34 родин, трьох класів і двох відділів. Різноманіття пояснюється еродованими терасами, лісонасадженнями сосни і акації, залишками затоплених садіб та необроблених полів. Прибережно-водна флора представлена широколистяними лісами: один масив простягається від с. Колодіївки до р.

Руска, другий — на північному схилі затоки навпроти с. Каштанівка, третій — частина східного схилу до урвистих берегів затоки. Переважають дуб звичайний, граб звичайний, клен звичайний, клен несправжньоплатановий, липа серцелиста, ясен, груша та черешня.

Схили затоки частково зайняті лісовими культурами сосни звичайної, чорної, кримської та акації білої, що вплинуло на флористичне різноманіття. Молоді дерева насінного походження зустрічаються поодинокі. На березі розташований Бакотський скельний монастир IX ст., видовбаний у вапняковій скелі. У верхів'ї затоки облаштовані два місця для літніх наметових таборів, зокрема для молодіжного Літнього табору.

Для території поблизу та безпосередньо на Бакотській затоці характерне активне користування природними ресурсами, зокрема водними, земельними та лісовими. Аналіз користувачів та власників землі показує наступне:

1. В межах угод:

- Землі водного фонду, що включають акваторію затоки та прибережні захисні смуги в межах Національного природного парку «Подільські Товтри», знаходяться у державній власності.
- Контроль за станом річки та прибережних смуг здійснює Дністровське регіональне басейнове управління.
- Близько 70% території відноситься до водоохоронної зони річки Дністер.

2. На суміжних територіях:

- Землі державної власності, землі населених пунктів (приватні та муніципальні), приватні сільськогосподарські землі (рілля, пасовища, сінокоси, сади).
- Використання земель включає рекреаційну, лісгосподарську та господарську діяльність за погодженням з адміністрацією НПП «Подільські Товтри».

Способи використання земель:

- **В межах угіддя:** наукові дослідження, природоохоронні заходи, рекреація (відпочинок, рибальство, полювання за погодженням). Нерівномірність рекреаційного навантаження є фактором негативного впливу на стан ВБУ.

- **На суміжних землях:** рекреаційна і лісогосподарська діяльність, любительське та промислове рибальство, сільськогосподарське використання земель за погодженням з адміністрацією парку.

Фактори несприятливого впливу на угіддя:

- Прямі загрози: втрати біорізноманіття, деформація та руйнування ландшафтів, деградація екосистем.

- Основні джерела впливу: господарська діяльність масштабного (Новодністровська ГАЕС) та рутинного характеру (дачне будівництво, протиерозійне заліснення, пасовища).

- Соціально-демографічні чинники (освіта, природоохоронна діяльність) мали деструктивний ефект.

Основні фактори антропогенного впливу:

- Сільськогосподарська діяльність (випасання, штучні пожежі, органічні відходи);

- Неадекватне природокористування (браконьєрство, збір рослин, кар'єрне добування, заліснення схилів);

- Урбанізація (розростання поселень, інфраструктури, засмічення);

- Природні процеси (ерозія, поширення чужорідних видів);

- Рекреаційна діяльність (засмічення, порушення флори та території).

Заходи щодо збереження угіддя:

- Територія входить до рекреаційної зони НПП «Подільські Товтри» відповідно до Указу Президента України №174/96.

- Менеджмент біорізноманіття регламентується Законом «Про природно-заповідний фонд України» (1992 р.) та Положенням про НПП «Подільські Товтри» (1996 р.).

- Дністровське регіональне басейнове управління здійснює моніторинг водних ресурсів.
- Затверджено проект організації території та рекреаційного використання (наказ МО №257 від 09.07.2002 р.).
- Проведено зонування ВБУ: виділено водоохоронну зону, прибережну захисну смугу, буферну зону екомережі та функціональні зони парку.

Опис зон управління:

- **Зона 1:** охорона та контроль рекреаційного використання; збереження особливо цінних природних комплексів.
- **Зона 2:** стабілізація рекреаційного використання; регулювання навантаження.
- **Зона 3:** охорона та підтримка сприятливого режиму; середній рекреаційний потенціал.
- **Зона 4:** перспективний розвиток рекреації; низька природна цінність, регульоване використання.
- **Зона 5:** охорона та контроль господарського використання; запобігання деградації прибережних територій.

В результаті аналізу території визначено природоохоронний статус, межі, географічне положення, площу ВБУ, гідрологічні особливості, характеристику флори та культурних цінностей, перелік користувачів земель та фактори антропогенного впливу, а також заходи щодо збереження та управління територією.

3 ОЦІНКА ПОБУДОВАНОЇ ЦМР ЗАСОБАМИ ГІС QGIS

3.1 Основні налаштування ГІС. Створення векторного шару території досліджень в QGIS ручним дешифруванням

У вікні QGIS після запуску необхідно створити новий проєкт. Рекомендується одразу зберегти його у відповідному каталозі. Для цього слід натиснути кнопку збереження (піктограму дискетки), після чого у вікні файлового провідника перейти до потрібної папки та ввести назву проєкту QGIS.

Після збереження потрібно відшукати у робочому просторі QGIS панель «Браузер» та розгорнути в ній домашній каталог проєкту. Якщо панель «Браузер» не відображається, її можна активувати через меню «Вид» → «Панелі» → «Браузер» (рис. 3.1).

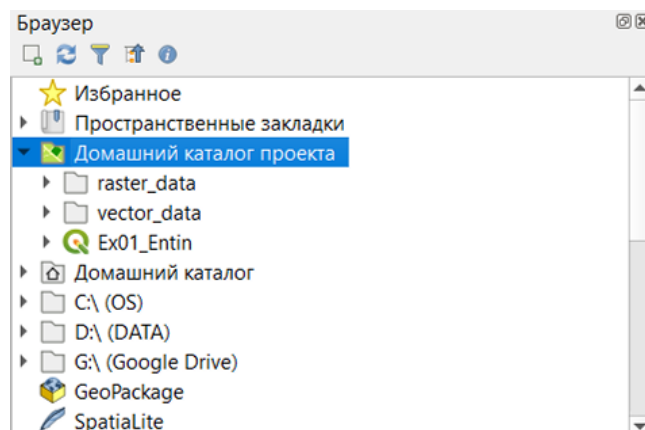


Рис. 3.1 Пункт «Браузер»

У правому нижньому куті картографічного вікна відображається напис **EPSG:4326**. Натиснувши на нього, користувач може відкрити інтерфейс вибору системи координат проєкту. У відповідному діалоговому вікні подається розширена інформація про використану систему координат. Код **EPSG:4326** відповідає географічній системі координат **WGS 84**.

У ГІС-термінології поняття «*географічна система координат*» (geographic coordinate system) означає, що координати просторових об'єктів та лінійні параметри растрів зберігаються у вигляді широти та довготи. Альтернативою є *проектовані системи координат* (projected coordinate systems), у межах яких

планові координати подаються у метричних одиницях. Система координат поточного проєкту була імпортована автоматично з першого (у даному випадку – єдиного) завантаженого джерела просторових даних. Оскільки система координат **WGS 84** переважно не використовується для повноцінного картографування, було здійснено її зміну. Для вибору оптимальної проєкції застосовано спеціальний інструмент – **Projection Wizard**, що забезпечує автоматизований підбір відповідної картографічної проєкції.

Для детальнішого огляду території можна змінити масштаб відображення та перемістити карту. Для цього передбачено інструменти навігації, розташовані на панелі **Map Navigation**. Якщо панель відсутня, її можна активувати, клацнувши у вільній області серед панелей інструментів і обравши відповідний пункт у меню.



Рис.3.2 Інструменти навігації

Деякі навігаційні інструменти можуть використовуватися автономно. Зокрема, масштабування здійснюється прокручуванням колеса миші, а переміщення по карті – рухом миші за умови натискання середньої кнопки.

Режим панорамування (переміщення карти) також можна активувати натисканням клавіші **пробіл**: утримуючи її та переміщуючи курсор миші або тачпадом, користувач може змінювати положення карти без необхідності натискати кнопки миші чи сенсорної панелі.

Після ознайомлення з основними навігаційними інструментами було встановлено масштаб карти 1:5 000 000. Це виконується через поле масштабу на нижній панелі QGIS: достатньо двічі клацнути по значенню масштабу, виділити знаменник і ввести нове значення без пробілів (5000000). Після встановлення масштабу зображення переміщується таким чином, щоб територія дослідження повністю відображалася по ширині екрана.

Після запуску інтерфейсу QGIS та появи стартового вікна було створено новий проєкт (New Project). Наступним кроком є перевірка наявності основних

робочих панелей програми — Browser (Браузер), Layers (Таблиця змісту) та Spatial Bookmarks (Просторові закладки). За їх відсутності необхідно у верхньому меню вибрати View (Вигляд) → Panels (Панелі) та активувати відповідні елементи, встановивши позначки навпроти Browser, Layers і Spatial Bookmarks (рис. 3.3).

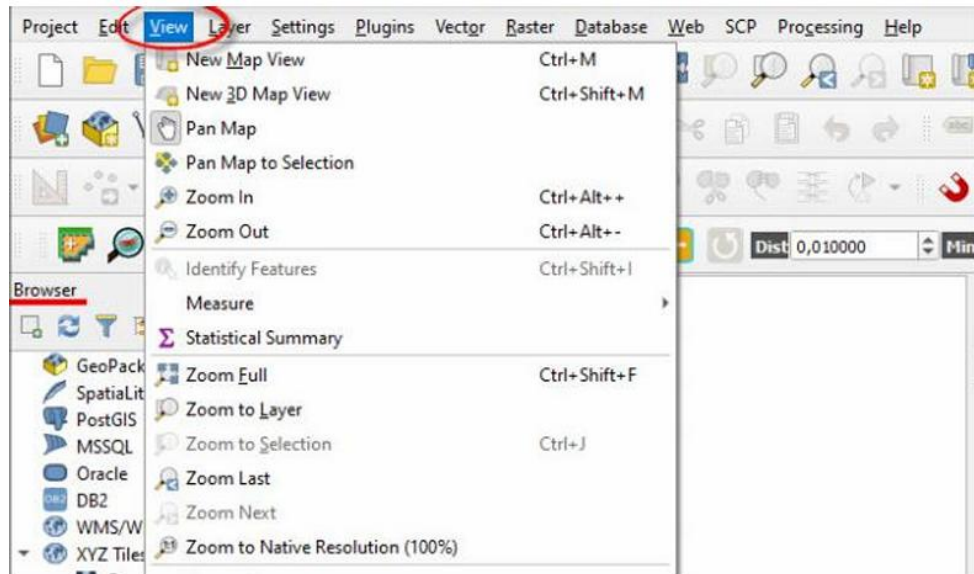


Рис. 3.3. Включення панелей Browser (Браузер), Layers (Таблиця змісту) та Spatial Bookmarks (Панель просторових закладок)

Для пошуку необхідної ділянки на річці Дністер – Бакотської затоки, до проекту було додано базову карту OpenStreetMap. Для цього в панелі Browser (Браузер) слід розгорнути розділ XYZ Tiles і двічі натиснути лівою кнопкою миші на шар OpenStreetMap. У результаті шар автоматично з'явиться в таблиці змісту та буде завантажений у картографічне вікно програми (рис. 3.4).

Наступним етапом роботи стало створення окремого векторизованого шару досліджуваного гідрологічного об'єкта. Перетворення растрового зображення у векторний формат було виконано в програмному середовищі QGIS із застосуванням двох методів.

Перший метод передбачав ручне дешифрування водного об'єкта, а другий — застосування напівавтоматичного підходу. Розглянемо докладно перший метод оцифрування.

Для створення нового векторного шару на панелі інструментів було обрано команду **New Shapefile Layer (Новий шейп-файл шар)**. У діалоговому вікні, що відкривається, в полі **File name (Назва файлу)** натиснуто на кнопку вибору каталогу та обрано папку, у якій зберігатиметься новий векторний шар разом з атрибутивною інформацією. Після цього вказано назву шару латиницею без спеціальних символів і натиснуто **Save (Зберегти)**.

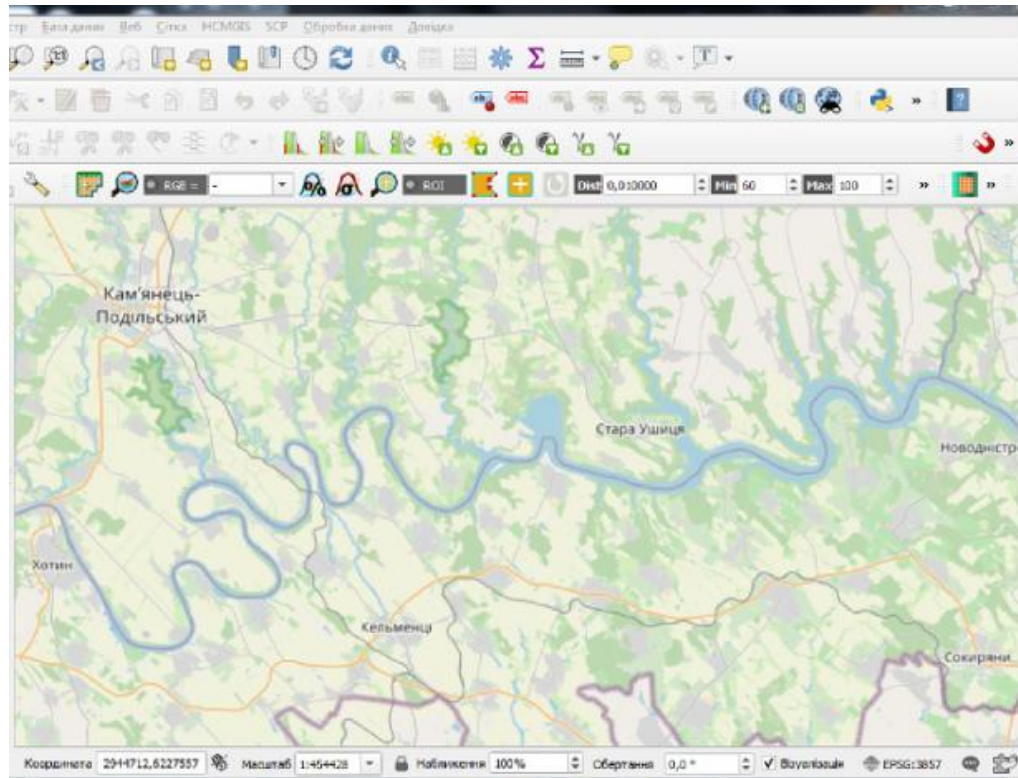


Рис.3.4 Вигляд вікна OpenStreetMap в ГІС продукті QGIS

У полі **Geometry type (Тип геометрії)** з випадного списку вибрано **Polygon (Полігон)**, оскільки полігональна геометрія найточніше відображає контури досліджуваного гідрологічного об'єкта. Нижче відкрито список доступних картографічних проєкцій, після чого обрано необхідну проєкцію та підтверджено створення шару натисканням **ОК**.

Після створення шару було виконано налаштування його візуального відображення. Для цього правою кнопкою миші відкрито контекстне меню шару та обрано пункт **Properties (Властивості)**. У вікні **Layer Properties (Властивості шару)** здійснено перехід на вкладку **Symbology (Символіка)**. У полі вибору типу відображення залишено режим **Single Symbol (Одиничний**

символ), оскільки на цьому етапі шейп-файл ще не містив об'єктів, а класифікація за атрибутами була недоцільною. У полі **Fill (Заливка)** для зручності оцифрування встановлено стиль **No Brush (Без заливки)**, що дозволяє працювати з контуром без зафарбованої внутрішньої області. У полі **Stroke color (Колір контуру)** вибрано, наприклад, червоний колір, а в полі **Stroke width (Ширина контуру)** встановлено значення **1 мм**. Після завершення налаштувань натиснуто **ОК**.

Оцифрування векторних шарів у QGIS виконується за допомогою стандартних засобів редагування та інструментів удосконаленої панелі оцифрування. Оскільки за замовчуванням ця панель не відображається, її було активовано через меню **View (Вигляд) → Toolbars (Панелі інструментів)**, де поставлено відмітку біля **Advanced Digitizing Toolbar (Удосконалена панель оцифрування)**. Після цього інструменти оцифрування стали доступними на верхній панелі програми (рис. 3.5).

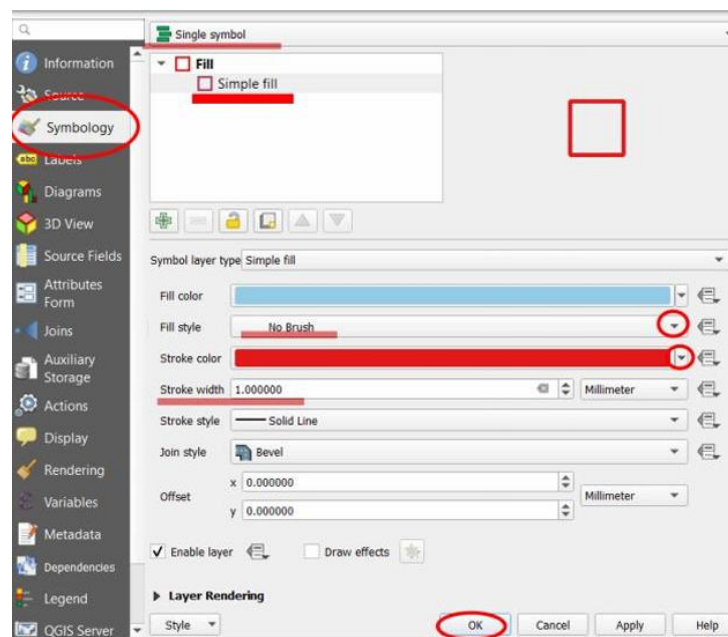


Рис. 3.5. Вигляд вкладки **Symbology (Символіка)** у вікні **Layer Properties (Властивості шару)**

Іконки інструментів спочатку відображаються сірим кольором, оскільки вони неактивні. Панель містить багато корисних інструментів, однак на початковому етапі важливо розуміти основне — як розпочати та завершити побудову полігона.



Рис. 3.6 Панель додаткових інструментів

Для цього необхідно активувати режим редагування векторного шару. У таблиці змісту слід вибрати потрібний шар, клацнувши по ньому лівою кнопкою миші, після чого натиснути інструмент **Toggle Editing** (Перемкнути режим редагування). Після активації редагування частина інструментів стає доступною — їх іконки змінюють колір і стають активними.

Серед них з'являється і інструмент для оцифрування полігонів. Після його вибору було розпочато окреслення досліджуваного об'єкта (рис. 3.7).



Рис.3.7. Вигляд оцифрованої Бакотської затоки, виконаної ручним методом за зображенням OpenStreetMap.

Для покрокового ручного оцифрування водного об'єкта кожна вершина (vertex) ставилася окремо шляхом натискання лівої клавіші миші. Після завершення окреслення полігону його створення фіксується правою кнопкою миші. Після цього з'являється вікно для вводу атрибутивних даних: поле «id» заповнюється автоматично програмою, а в полі «площа» або інших необхідних

полях користувач вводить відповідну інформацію та підтверджує її натисканням Ok або клавіші Enter.

Метод ручного оцифрування має як переваги, так і недоліки. До негативних аспектів відноситься, насамперед, невизначена точність векторизації. По-перше, оцифровка проводилась за зображенням невідомої якості та стану на певний період даних OpenStreetMap. Під час векторизації важливим є врахування часових меж, наприклад, вибір конкретного місяця (як-от липень), що визначає актуальність меж водного об'єкта. По-друге, неточність може виникати через помилки розміщення поворотних точок полігону під час роботи дослідника. Нарешті, векторизований об'єкт може не відповідати сучасному стану водного об'єкта та прилеглих територій, що слід враховувати при подальшому використанні даних.

3.2 Створення векторного шару території досліджень в QGIS напіваавтоматичним дешифруванням

Враховуючи вищезгадане, доцільно застосувати альтернативний метод векторизації водного об'єкта, що забезпечує більшу точність. Цей метод базується на використанні космічних знімків території досліджень з архіву Геологічної служби США (USGS), доступних на порталі EarthExplorer. Використання певних каналів супутникових знімків дозволяє ГІС-програмам обчислювати спектральні індекси, які відображають співвідношення електромагнітного випромінювання в різних спектральних діапазонах.

Спектральні індекси, спершу застосовані для оцінки стану рослинності і відомі як вегетаційні індекси, дозволяють виділяти необхідну інформацію та зменшувати шум даних. Такі індекси покращують результати як візуального дешифрування, так і автоматизованих методів класифікації.

Одним із найбільш поширених є нормалізований диференційний вегетаційний індекс (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index), що оцінює активність біомаси та стан рослинності в певний момент або в динаміці. Зелені

рослини поглинають більшість видимого спектра і відбивають хвилі ближнього інфрачервоного діапазону. NDVI розраховується за формулою:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

де **Red** – червоний спектральний діапазон (0,62–0,75 мкм), на який припадає максимум поглинання сонячної радіації хлорофілом; **NIR** – ближній інфрачервоний діапазон (0,75–1,3 мкм), що характеризується максимальним відбиттям енергії листовою структурою.

Окрім рослинності, NDVI широко застосовують для дослідження водойм, ґрунтів, снігового покриву та відокремлення меж суші від води, що є актуальним для нашого дослідження. Для цього було імпортовано космічні знімки середньої роздільної здатності: супутників Sentinel (10 м, 14 липня 2021 р.) та Landsat (3 липня 1976 р.). Особливу увагу приділено 3-му та 4-му каналам – червоному та ближньому інфрачервоному.

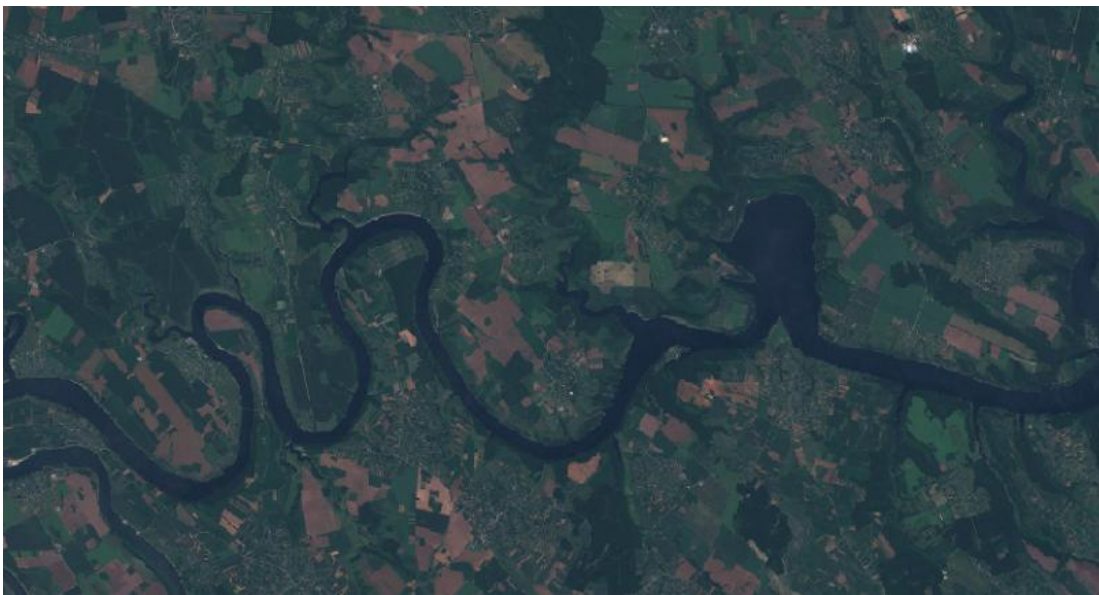


Рис.3.8 Синтезоване зображення супутникового знімка Sentinel у комбінації каналів 4, 3, 2 (Red, Green, Blue), що демонструє природне кольорове відображення території Бакотської затоки.

У проєкт було завантажено синтезовані зображення супутника Sentinel у комбінації каналів 11, 8, 4 (SWIR, NIR, Red) та 4, 3, 2 (Red, Green, Blue) через **Raster** → **Miscellaneous** → **Merge**. Остання комбінація відтворює природні кольори об'єктів (Рис. 3.8–3.9).

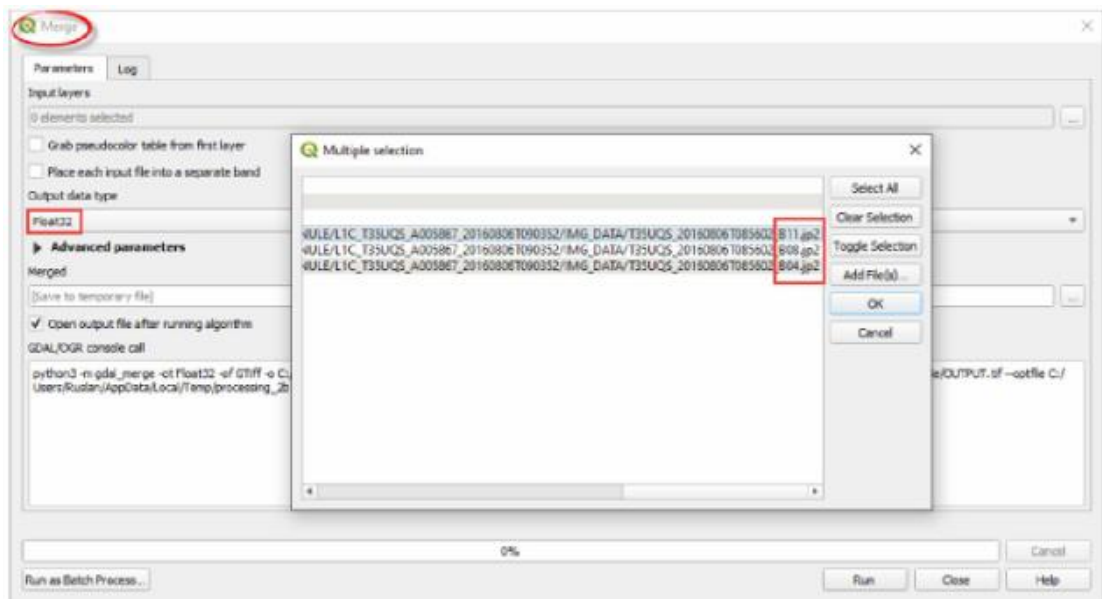


Рис. 3.9. Порядок комбінації каналів та вибір типу вихідних даних «float32»

Для обчислення NDVI важливо, щоб значення каналів, задіяних у формулі, були у форматі **float**. Тому при створенні синтезованого зображення у полі **Output data type (Вихідний тип даних)** слід обрати **float32**. Особливу увагу потрібно приділяти порядку каналів: якщо вони відображаються неправильно, їх можна переставити, перетягнувши мишею.

Після виконання операції **Merge (Злиття)** синтезоване зображення у комбінації каналів 11-8-4 додається до проєкту як новий шар. Аналізуючи попередню формулу вегетаційного індексу та характеристики каналів Sentinel-2, було визначено, що для обчислення NDVI слід використати канали **4 (Red)** і **8 (NIR)**. Для обчислення індексу у головному меню вибрано **Raster → Raster Calculator (Растровий калькулятор)**. У відповідному полі потрібно ввести формулу:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

де **NIR** та **RED** обираються з меню верхньої частини вікна калькулятора (рис. 3.10–3.11).

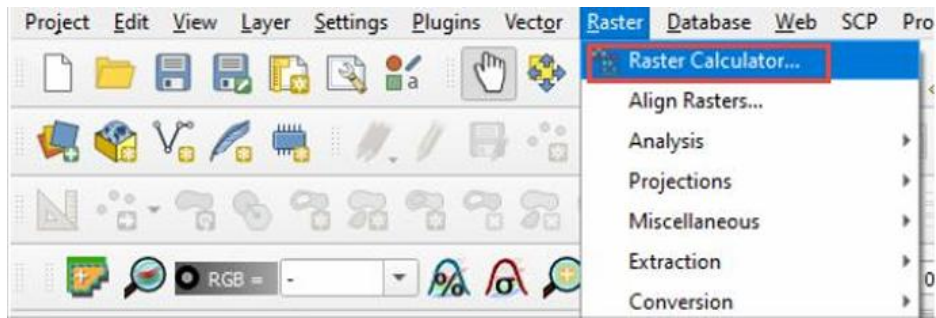


Рис.3.10 Підключення Растровий калькулятор (Raster Calculator)

Значення каналів вже попередньо переведено у формат **float**, тому тепер можна безпосередньо вводити формулу обчислення NDVI у **Raster Calculator** (Растровий калькулятор), підставляючи відповідні канали:

$$NDVI = \frac{Band8 - Band4}{Band8 + Band4}$$

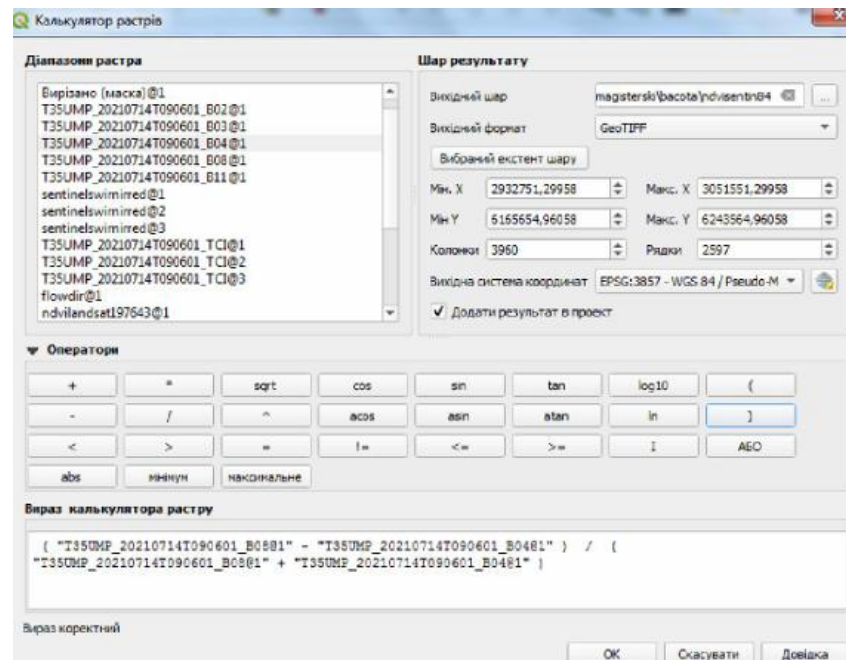


Рис. 3.11. Розрахунок NDVI в растровому калькуляторі

У відкритому діалоговому вікні **Raster Calculator** (рис.3.11) потрібно виконати такі кроки:

1. У меню **Raster Bands (Растрові шари)** у верхній частині вікна обрати необхідні канали.
2. Використати **Operators (Кнопки оператора)** для введення символів формули: «-», «+», «/». Щоб додати шар у вираз, двічі натиснути на його назву лівою кнопкою миші.

3. Вказати папку для збереження та задати назву вихідного шару, наприклад: **ndvisentin84**, де цифри відповідають даті знімка.

Після виконання обчислення вегетаційний індекс водосховища за 14 липня 2021 р. автоматично додався до проєкту у вигляді чорно-білого растрового шару зі значеннями від **–1 до 1** (Рис. 3.12).



Рис. 3.12. Відображення вегетаційного індексу NDVI території досліджень

Як видно з рисунка, темніші кольори відповідають значенням NDVI менше 0 (зокрема водні об'єкти), тоді як світліші – значенням більше 0. Це значно спрощує процес дешифрування геооб'єктів та підвищує точність векторизації.

Для налаштування відображення растрового шару NDVI необхідно:

1. У таблиці змісту проєкту клацнути правою кнопкою миші на шар NDVI та обрати **Properties (Властивості)**.

2. У вікні **Layer Properties (Властивості шару)** перейти на вкладку **Symbology (Символіка)**.

3. Вибрати метод відображення **Singleband pseudocolor (Одноканальне псевдокольорове)**, що дозволяє групувати пікселі у визначену кількість класів та змінювати межі кожного класу.

4. У полі **Color Interpolation (Інтерполяція кольорів)** обрати **Discrete** для дискретної шкали або **Linear** для безперервної.

5. Налаштувати **Color ramp (Кольорова гама)** відповідно до потреби відображення.

У таблиці параметрів растра доступні три колонки:

- **Value (Значення)** – верхня межа діапазону;
- **Color (Колір)** – колір, який можна задати вручну для кожного діапазону;
- **Label (Назва)** – текстовий підпис для меж або короткий опис діапазону.

Для запуску класифікації шару натискаємо **Classify (Класифікувати)**. Тут також можливо змінити кількість класів (**Classes**) та їхні межі (**Value**). Щоб застосувати попередньо створену кольорову шкалу NDVI, у нижній частині вікна натискаємо **Style (Стиль)** → **Load Style (Завантажити стиль)** та обираємо файл стилю. Після цього натискаємо **Apply (Застосувати)** або **OK** для застосування стилю до обраного растрового шару (Рис. 3.1.13).



Рис. 3.13. Вегетаційний індекс NDVI території досліджень після налаштувань кольорового стилю

З рисунка видно, що водний об'єкт відображено синім кольором, території забудови та ділянки без рослинності – світлішими тонами, а наявність рослинного покриву – червоними відтінками. Після налаштування стилю кольорів доцільно обмежити область спостережень межами гідрологічного об'єкта, тобто виключити з відображення зайві геооб'єкти, які не відносяться до Бакотської затоки. Це дозволяє підвищити ефективність подальших розрахунків і візуалізації об'єкта. Для цього слід скористатися підменю **Layer** → **New Temporary Scratch Layer (Шар → Новий тимчасовий скетч-шар)**, де вказати

нову назву шару, тип геометрії – **Polygon (Полігональний)**, а також проєкцію, відповідну проєкту. Далі здійснюється грубе окреслення необхідної ділянки інструментом для створення полігону (Рис. 3.14).



Рис. 3.14 Створення скретч-шару території Бакотської затоки за шаром маски.

Далі через підменю **Raster → Extraction → Clip Raster by Mask Layer (Растр → Вилучення → Вирізати растр за шаром маски)** отримують зображення, що містить лише територію Бакотської затоки. Наступним етапом є перетворення зображення вегетаційного індексу NDVI, значення якого коливаються від -1 до $+1$, у двокласове зображення, де розрізняють пікселі з показниками менше 0 та більше 0 . Це обґрунтовано тим, що для водних об'єктів на зображенні характерні значення NDVI менше 0 . Виконати перетворення можна за допомогою **Raster Calculator (Калькулятор растрів)** аналогічно попередньому розрахунку (Рис. 3.15).

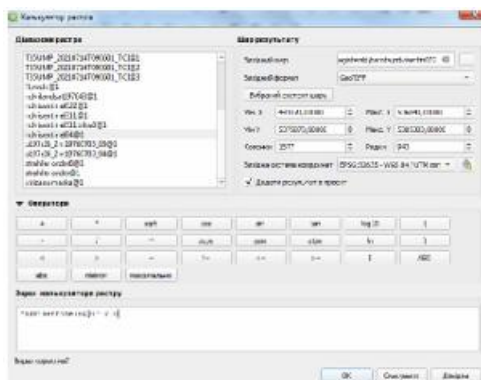


Рис. 3.15 Налаштування вегетаційного індекса NDVI через Калькулятор растрів

Порівняння отриманого полігонального шару Бакотської затоки з береговою лінією на космічному знімку демонструє достатньо високу точність векторизації: межі полігонів добре співпадають з фактичною береговою лінією водного об'єкта (Рис. 3.17).

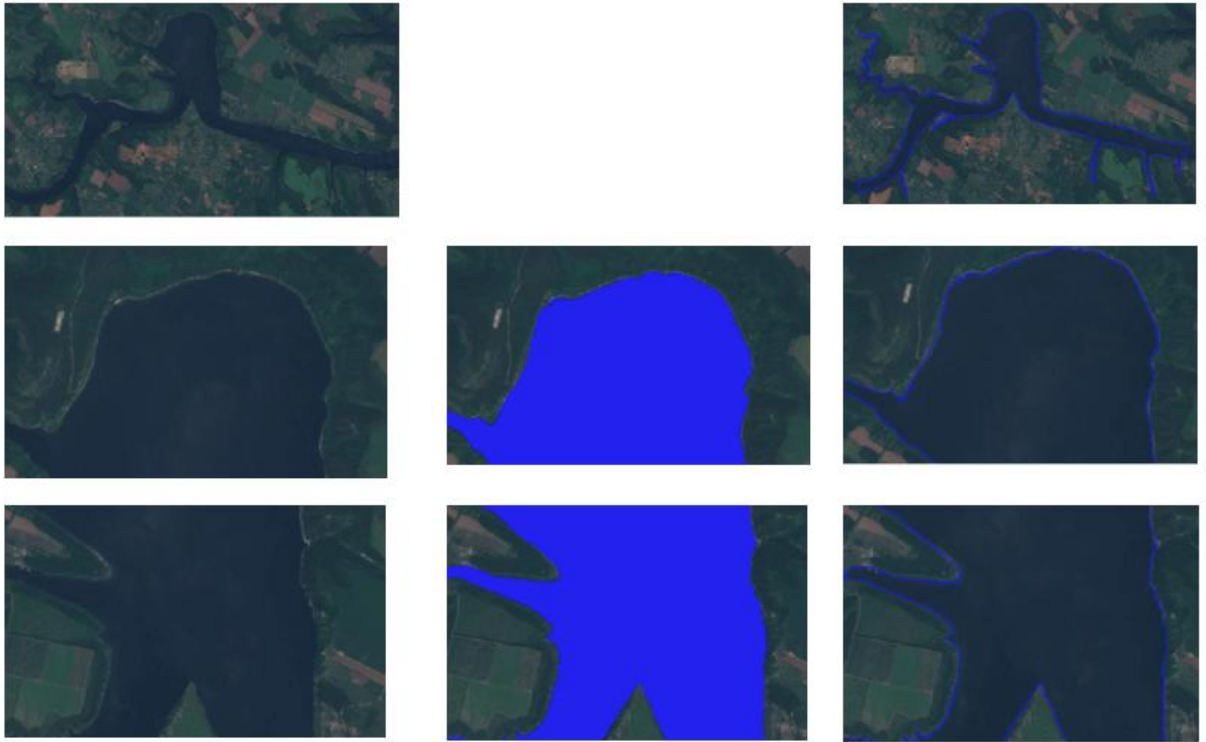


Рис. 3.17 Проведення полігонізації (перетворення растра у вектор) ділянки Бакотської затоки.

За даними статистичних джерел, загальна площа Бакотської затоки становить 1590 га. Можливості ГІС-продукту QGIS дозволяють визначати основні атрибутивні характеристики векторизованих об'єктів, зокрема площу оцифрованої Бакотської затоки, яка за результатами нашого дослідження становить 2500,8 га. Розбіжність пояснюється тим, що досліджувана територія охоплює більшу ділянку, включно з частинами русла річки Дністер до та після затоки.

Крім того, до проекту було імпортовано космічний знімок супутника Landsat від 3 липня 1976 року, тобто до створення Дністровського водосховища та Бакотської затоки. Роздільна здатність цього зображення низька — 57 м. Використання індексу NDVI дозволило векторизувати русло річки Дністер в межах території досліджень (Рис. 3.18).

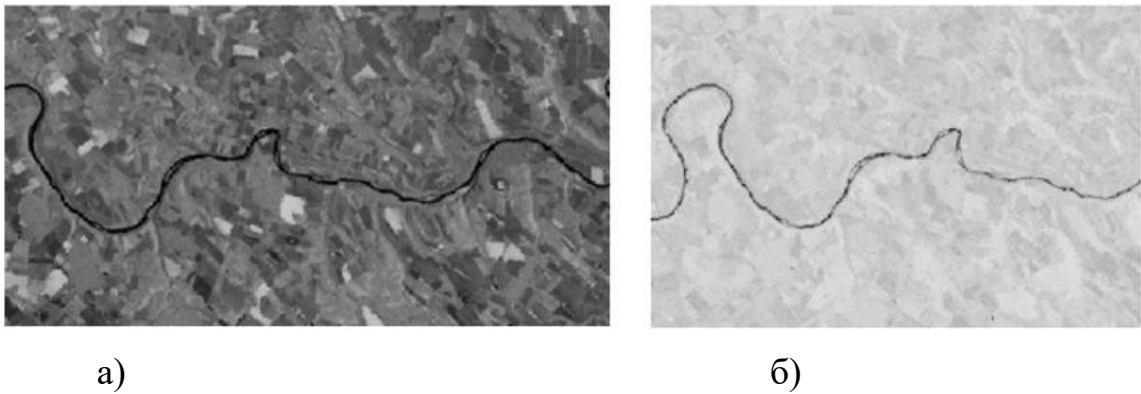


Рис. 3.18 а) космічний знімок супутника Landsat від 3 липня 1976 року; б) індекс NDVI ділянки території Бакотської затоки.

Оверлейний аналіз двох окремих шарів – NDVI за космічним знімком Landsat 1976 року та векторизованого зображення за знімком Sentinel 2021 року – показує загальне співпадіння русла річки Дністер у часі.

Водночас спостерігається суттєве розширення ширини русла вздовж усієї ділянки та перехід від багатурукавності до однорукавності, що пов'язано із підняттям рівня води внаслідок створення та експлуатації Дністровського водосховища (Рис. 3.19).

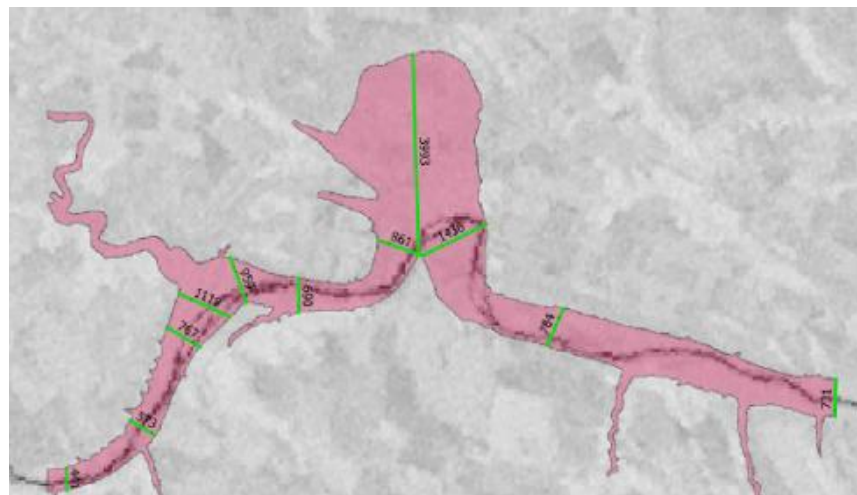


Рис.3.19 Оверлейний аналіз індексу NDVI за космічним знімком супутника Landsat 1976 року та векторизованого зображення за знімком Sentinel 2021 року дозволяє простежити зміни ширини русла річки Дністер.

З рисунка видно, що максимальна ширина спостерігається безпосередньо в межах Бакотської затоки і становить 3993 м. У ділянці русла до затоки ширина річки менша – у середньому 400-700 м, тоді як нижче за течією після затоки ширина коливається в межах 700-800 м.

3.3 Імпортування даних SRTM в ГІС продукт

За допомогою архіву Геологічної служби США (USGS) на сайті EarthExplorer було отримано та завантажено дані SRTM для території досліджень. На зазначеному геопорталі було виділено межі досліджуваної ділянки, після чого у вкладці **Data Sets** розгорнуто групу **Digital Elevation** та обрано набір даних **GMTED2010**. У вкладці **Results** відбулося візуальне відображення SRTM-даних на території досліджень (Рис. 3.20).

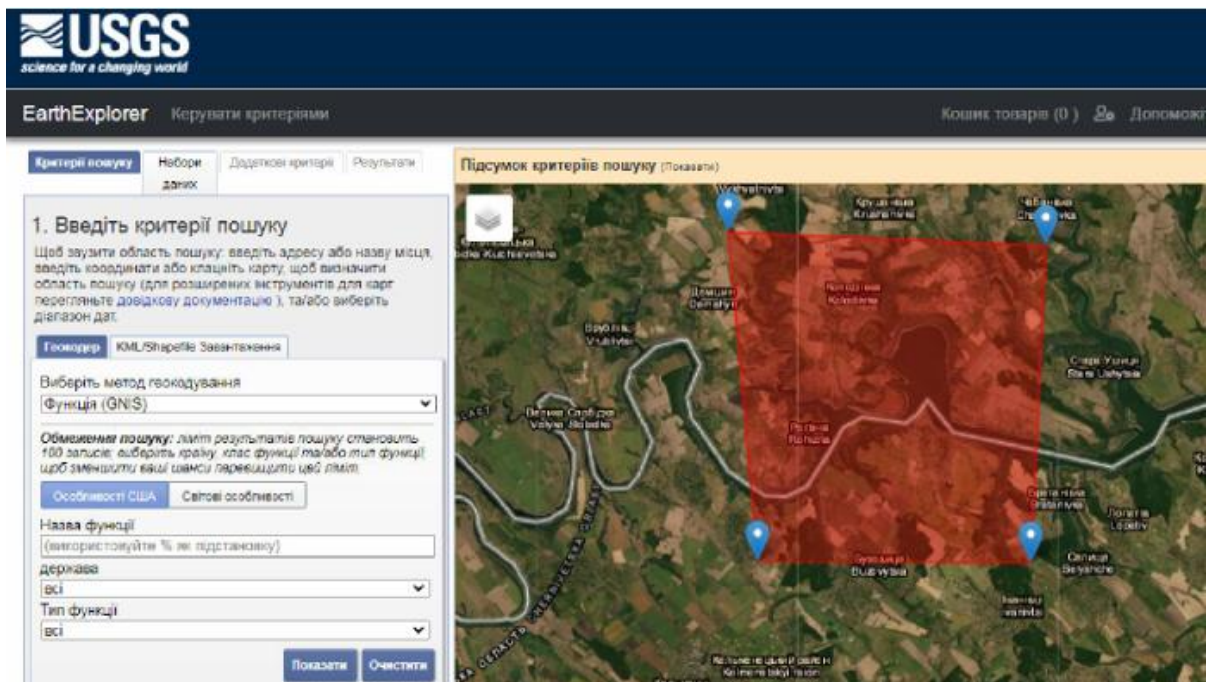


Рис.3.20 Вигляд вікна відображення пошуку даних SRTM

З геопорталу було завантажено зазначену растрову інформацію із відповідною роздільною здатністю. У результаті з'явився файл **GMTED2010N10E060_300.zip**. Дані висот представлені у різних растрових форматах, таких як ASC, BIL, GeoTiff тощо. QGIS підтримує широкий спектр растрових форматів завдяки бібліотеці GDAL. Дані GMTED постачаються у форматі **GeoTiff**, який міститься в архіві ZIP. Після цього шар було відкрито та додано до проекту як растровий. На полотні QGIS відобразилися дані місцевості, де кожен піксель растру відповідає середній висоті в метрах для відповідної ділянки. Темні пікселі позначають області з низькими висотами, а світліші — з високими (Рис. 3.21).

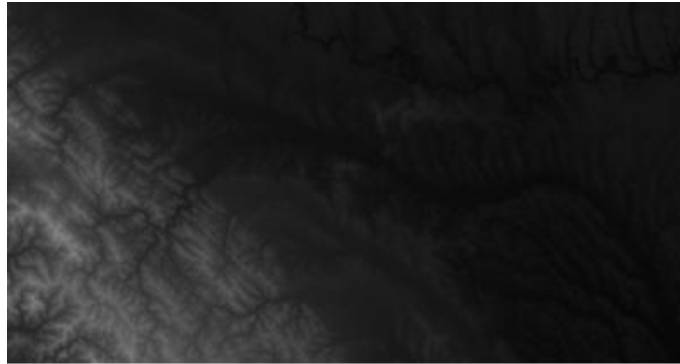


Рис.3.21 Дані SRTM

Імпорт растрового зображення SRTM на територію досліджень можна значно спростити за допомогою ГІС-продукту **QGIS** та встановленого плагіну **SRTM Downloader**. Після відкриття плагіну необхідно задати екстент карти — тобто межі видимої області, яка відображається на екрані в програмі QGIS (тому перед використанням плагіну слід масштабувати зображення території досліджень до оптимального дрібномасштабного вигляду). Далі слід вказати шлях для збереження файлів та запустити одночасний пошук і завантаження SRTM-зображень для обраної території (Рис. 3.22).

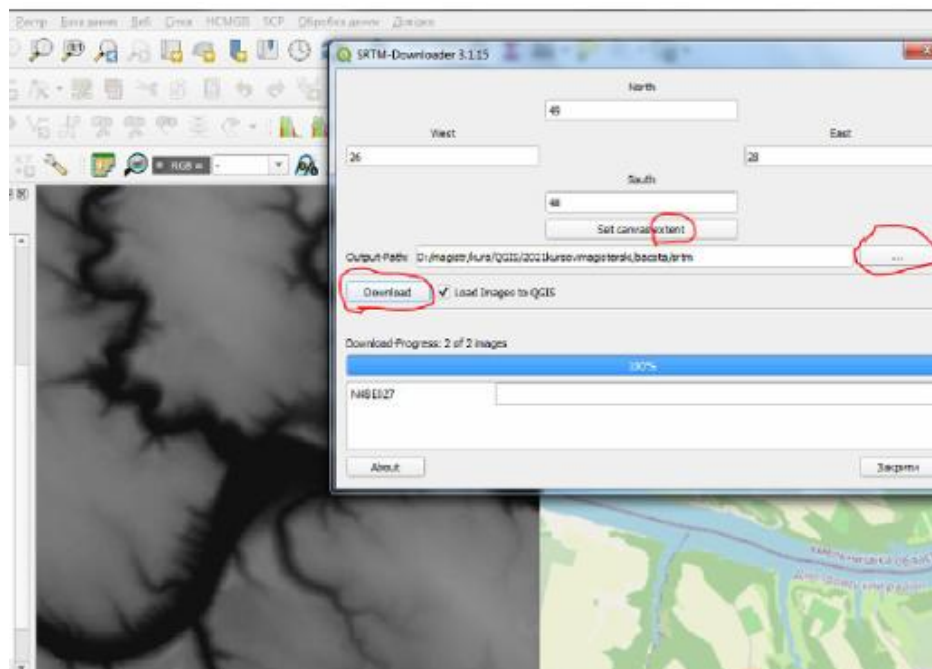


Рис.3.22 Використання плагіну SRTM Downloader для отримання SRTM зображення

Плагін також може вимагати підтвердження облікових даних (логін та пароль) для доступу до сайту <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Для досліджуваної

території часто необхідно обробляти кілька SRTM-знімків, які слід об'єднати за допомогою підменю **Растр** → **Розбіжності** → **Побудувати віртуальний растр**. У відкритому вікні необхідно вказати кількість SRTM-зображень для об'єднання, задати параметр **Resolution** (висота пікселя), вказати шлях збереження віртуального растру та натиснути **Виконати** (Рис. 3.23, а).

Іноді завантажені SRTM-знімки можуть мати іншу систему координат, ніж поточне візуалізоване зображення. У такому випадку необхідно виконати перепроєкцію через **Растр** → **Проекція** → **Перепроєкціювання**, налаштувавши параметри відповідно до рисунка, задати роздільну здатність вихідного файлу (30 м), а також шлях збереження та ім'я файлу у форматі **TIF** (Рис. 3.23, б).

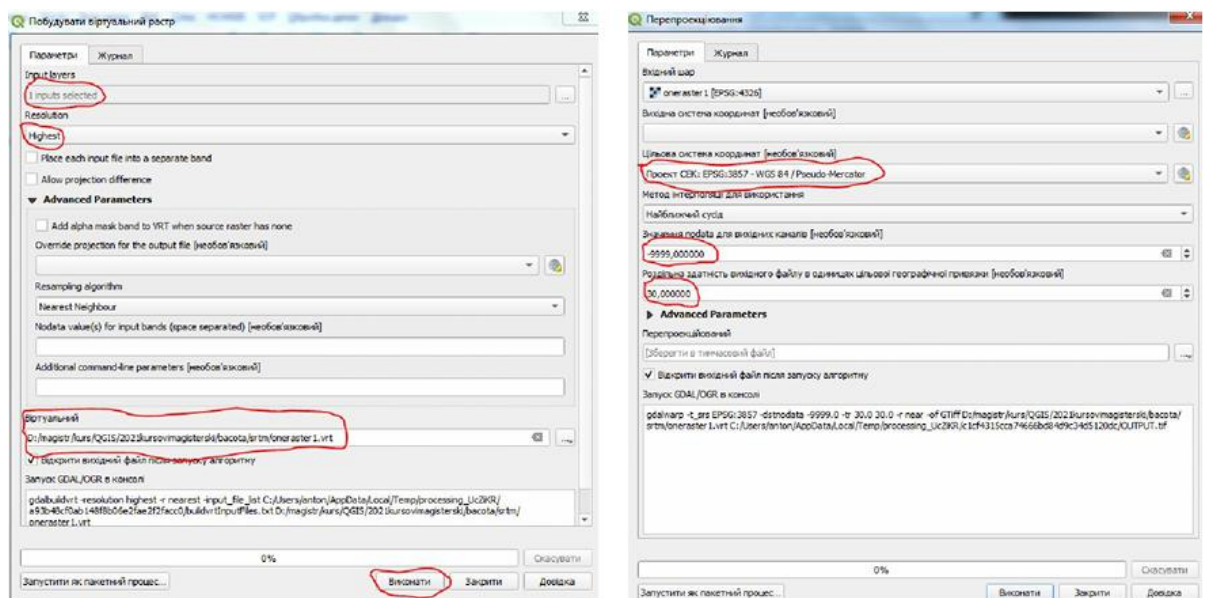


Рис. 3.23 Вікно налаштувань:

- а) побудови віртуального растру б) перепроєкціювання SRTM
необхідних SRTM зображень зображень

Наступним етапом дослідження було виділення з існуючого растру зменшеної території за площею за допомогою підменю **Растр** → **Вилучення** → **Вирізати область з растру**. Після масштабування карти для зручності вибору, територію можна визначити або через **Extent карти**, або шляхом окреслення прямокутної області. Після виконання операції слід зберегти новий растровий файл.

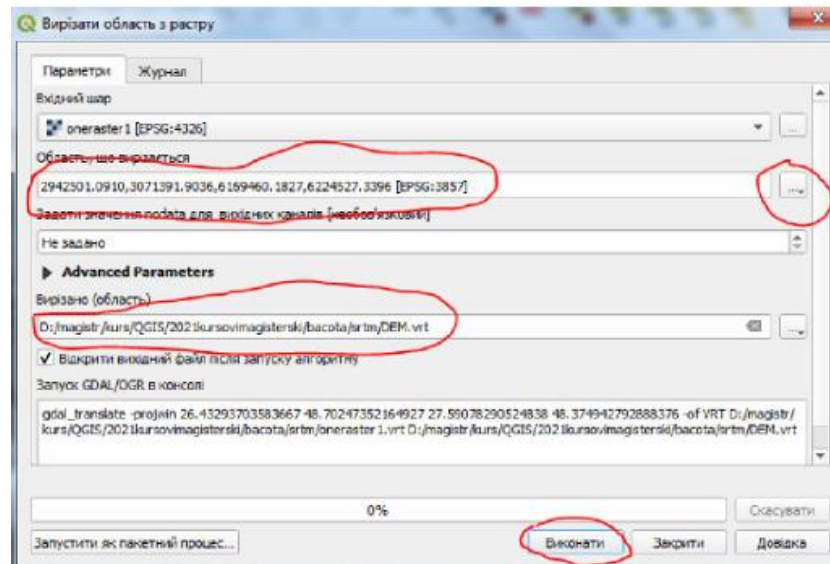


Рис. 3.24 Налаштування вирізання області з растру

3.4 Створення цифрової моделі рельєфу території досліджень

Тепер можна перейти безпосередньо до побудови цифрової моделі рельєфу (ЦМР). Активувавши функціонал через підменю **Обробка даних** → **Панель інструментів**, у полі пошуку слід ввести **Fill sinks (Wang and Liu)**. У вікні, що з'явиться (Рис.3.25), необхідно виконати налаштування: обрати вихідний файл для побудови ЦМР та визначити шлях збереження результату.

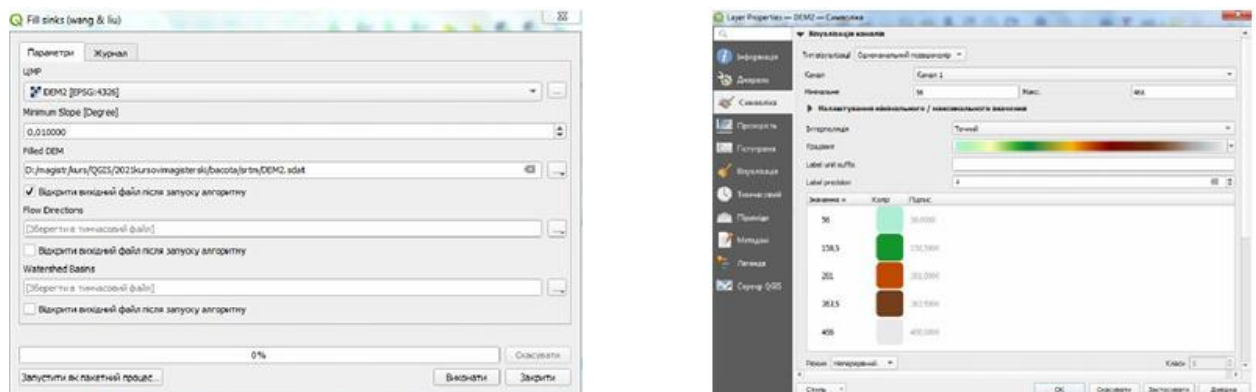


Рис. 3.25 Налаштування створення ЦМР у вікні інструменту Fill sinks (Wang and Liu) та символіки і типу візуалізації готової ЦМР

Після створення та візуалізації ЦМР отримаємо чорно-біле зображення, яке можна перетворити на кольорове через контекстне меню, обравши параметри: **Тип візуалізації** – **Одноканальний псевдоколір**, **Інтерполяція** –

лінійна, Точність – фактична (повільніше), Градієнт – топографічний, а також встановити кількість класів кольорової гами.

За допомогою контекстного меню нового продубльованого шару обрано **Властивості**, після чого у полі **Render type** встановлено тип **Відмивання**. Це дозволяє відобразити зображення у вигляді тіньової відмивки. У даному режимі доступна настройка висоти Сонця та азимуту, що забезпечує можливість візуально коригувати зображення з урахуванням тіней рельєфу (Рис.3.26).

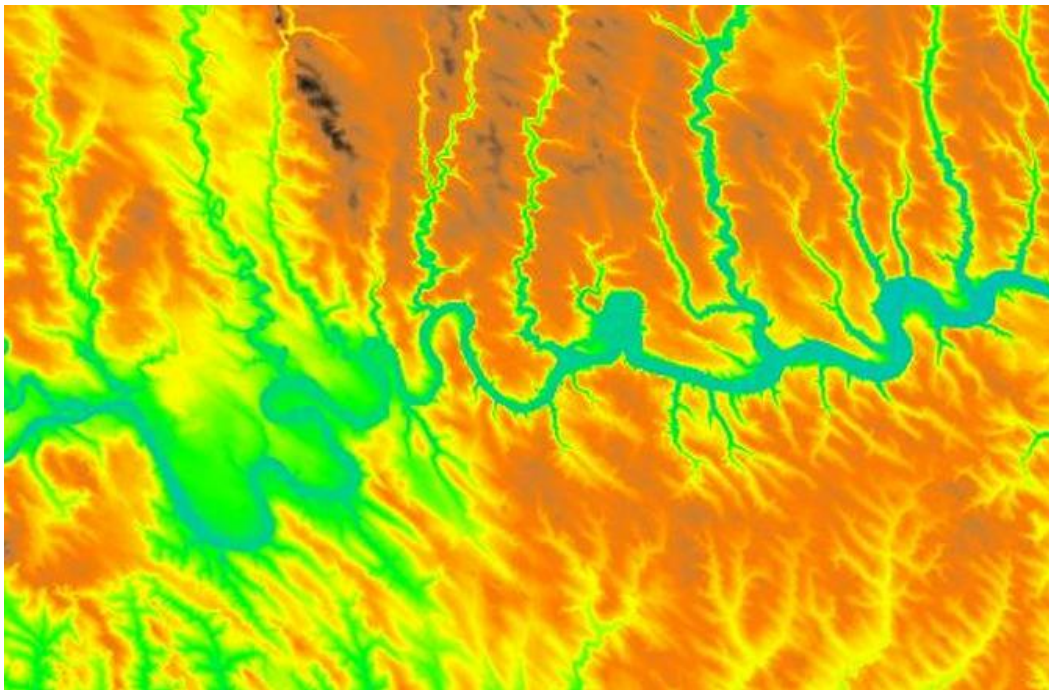


Рис. 3.26 Побудована та налаштована цифрова модель території досліджень

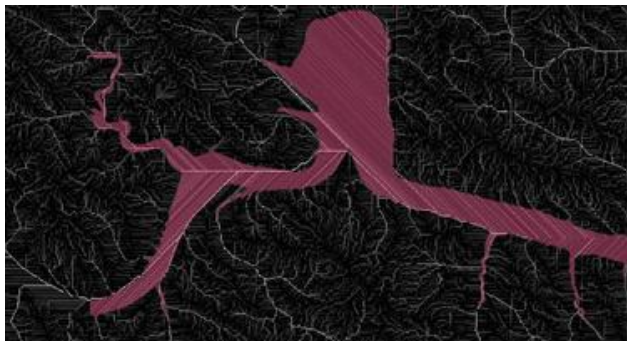
Для більш чіткої візуалізації території досліджень за басейновим підходом, тобто з виділенням басейнів основних приток та меж басейну річки Дністер для конкретної ділянки, було здійснено напівавтоматичне виконання поставленого завдання. Через підменю Обробка даних → Панель інструментів у пошуку знайдено інструмент Strahler order. У меню налаштувань вказано шлях збереження нового шару. Оверлейний аналіз цього шару та векторизованого зображення Бакотської затоки показав результат, наведений на Рис.3.27 а.

На рисунку видно притоки різного порядку та характеристик. Було виконано коригування параметрів символіки: тип візуалізації – одноканальний псевдоколір, точність – фактична (повільніше), інтерполяція – лінійна, кількість

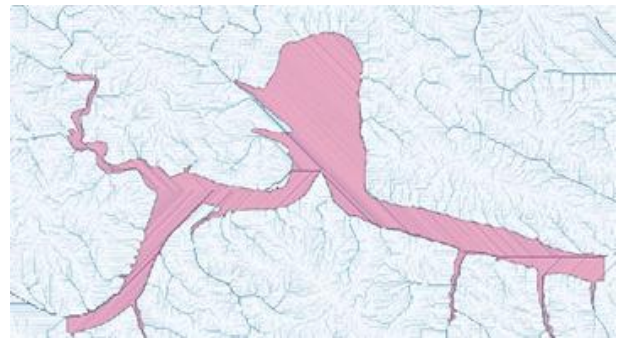
кольорових класів – 10, обрано синій колір (Рис.3.27 б). При накладенні на космознімок природних кольорів видно, що частина виділених приток і допливів насправді не існує. Це пов'язано з тим, що програма автоматично розрахувала всі можливі допливи, виходячи з ЦМР та показників висот і понижень рельєфу, що визначають мінімальний початковий стік опадів.

Для подальшого аналізу доцільно залишити лише найбільші притоки, які реально існують. Через Калькулятор растрів, обравши файл `strahler order2` (який відповідає за візуалізацію допливів), введено формулу: `"strahler order2@1" >= 8`. Це дозволяє відобразити допливи з числом рівним або більшим за 8 (Рис.3.27 в).

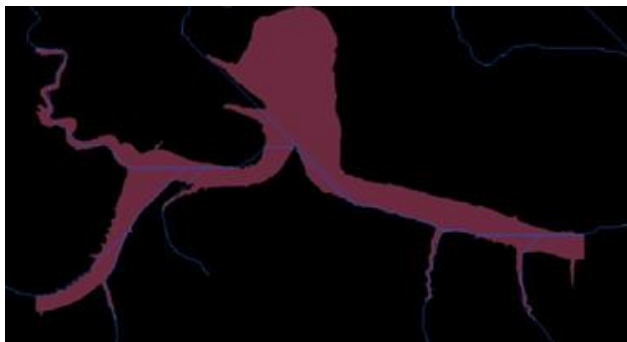
Далі через контекстне меню у розділі Символіка налаштовано тип візуалізації – одноканальний псевдоколір, точність – фактична, інтерполяцію – лінійну, кількість класів зменшено до 2. Класам присвоєно кольори: синій та рожевий. У вкладці Прозорість, для поля Додаткове значення “немає даних”, введено 0, що дозволяє зробити прозорими ділянки, які не належать до класу рожевих (Рис.3.27 г).



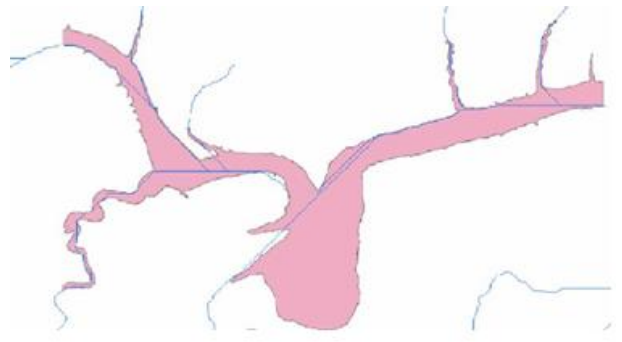
а



б



в



г

Рис. 3.27 Використання інструменту Strahler order для відображення допливів водних об'єктів.

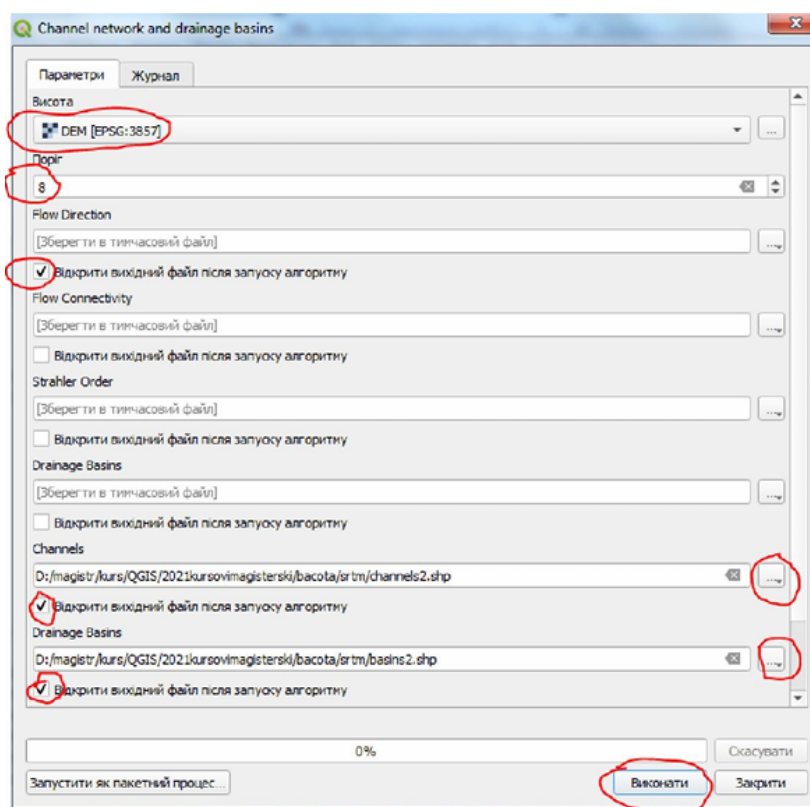


Рис. 3.29. Вікно налаштувань автоматичного формування басейнів приток за допомогою інструменту **Channel Network and Drainage Basins**.

Після виконання процедури створення нових шарів отримано векторизовані геооб'єкти — притоки та межі басейнів, сформовані на основі попереднього растрового зображення (Рис.3.30).

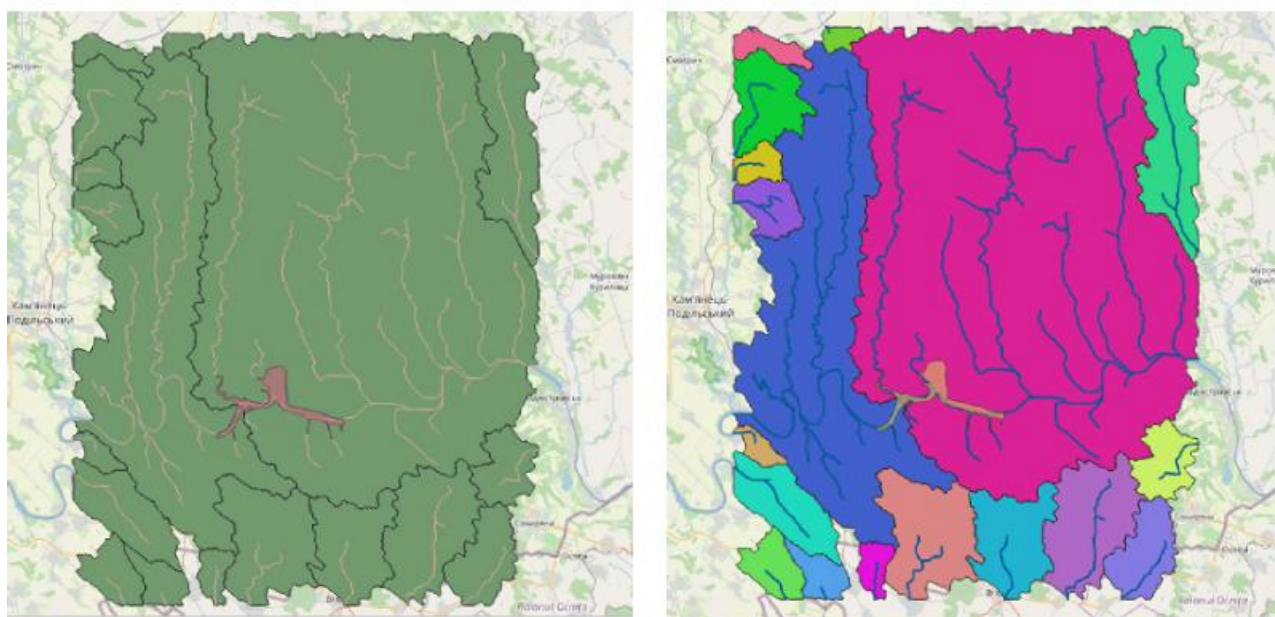


Рис.3.30 Вигляд басейнів річок довкола Бакотської затоки

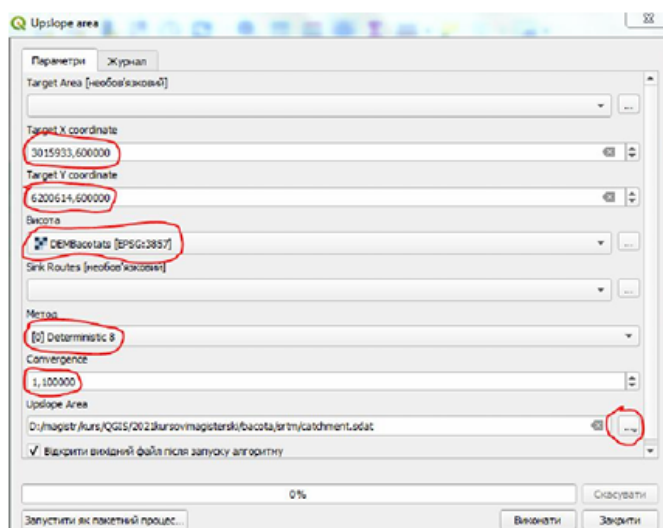
За допомогою налаштувань окремих шарів — лінійного шару річки (синій колір) та полігонального шару водозборів (зміну від звичайного символу до категоріального за певним значенням) — вдалося покращити візуальне відображення геооб'єктів.

Наступним етапом роботи було виділення безпосередньо об'єкта досліджень — Бакотської затоки разом із територією басейнів рік, які безпосередньо скидають у неї свої води. Для цього, при наближенні до векторизованого русла річки (обрано ділянку на річці Дністер після утворення Бакотської затоки), курсор розташовують на векторі та за допомогою правої клавіші миші викликають меню для захоплення координат, обираючи координати з карти.

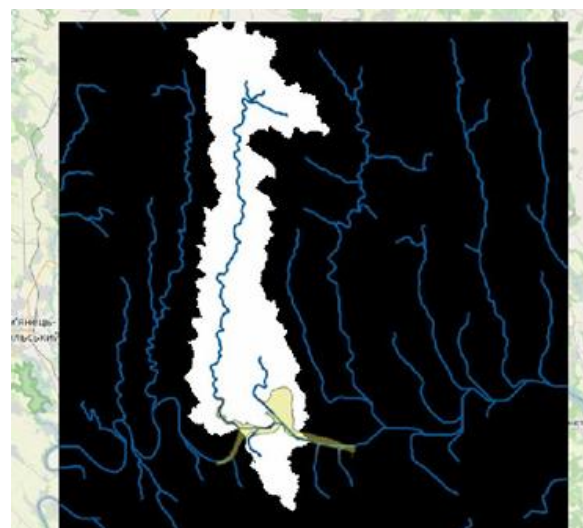
Далі через підменю **Обробка даних – Панель інструментів** у пошуку знаходять інструмент **Upslope Area**. У вікні налаштувань необхідно вказати попередньо скопійовані координати X, Y, обрати цифрову модель рельєфу (ЦМР), метод — **Deterministic**, та задати шлях збереження (Рис.3.31 а).

В результаті буде отримано растрове відображення басейну річок, які безпосередньо скидають воду у Бакотську затоку до вказаної точки (Рис.3.31 б). Наступним кроком виконується перетворення цього растрового шару у векторний полігональний (Рис.3.31 г). Після перетворення, через контекстне меню векторизованого шару, відкривається таблиця атрибутів (Рис.3.31 д), де здійснюють редагування та видалення зайвих об'єктів, залишаючи лише полігональний шар басейну. Завершальним кроком є налаштування символіки шару: прозорості, меж та інших параметрів відображення (Рис.3.31 е).

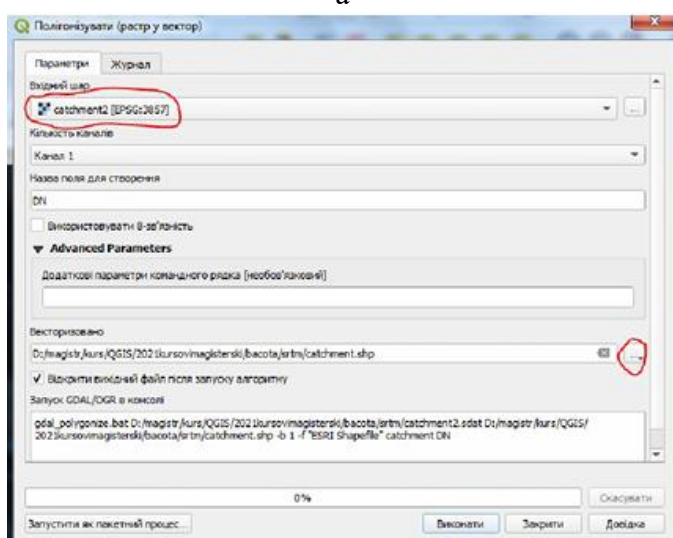
Було отримано векторизований полігональний об'єкт басейну та лінійний шар допливів. Наступним кроком є обрізання всіх лінійних водних об'єктів у межах зазначеного полігону. Для цього слід скористатися підменю **Вектор → Обробка даних → Обрізка**, де необхідно задати, який шар та за яким полігоном буде виконано обрізання (Рис.3.32 а).



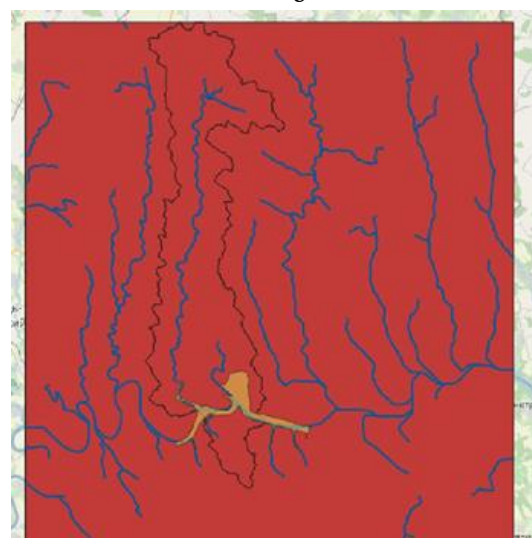
а



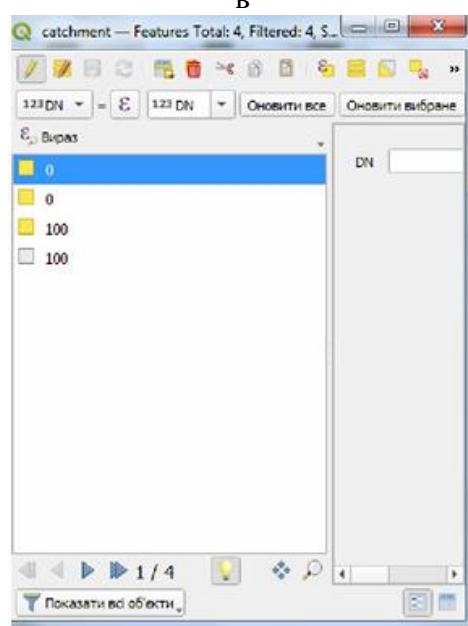
б



в



г



д



е

Рис. 3.31 Полігонізація (перетворення растрового зображення у векторне) для басейну річок довкола Бакотської затоки.

Після виконання операції для лінійних об'єктів рекомендується змінити параметри відображення: колір, товщину лінії та інші налаштування візуалізації. Аналогічно слід здійснити обрізку растрового шару цифрової моделі рельєфу (ЦМР) за межами басейну (Рис.3.32 б).

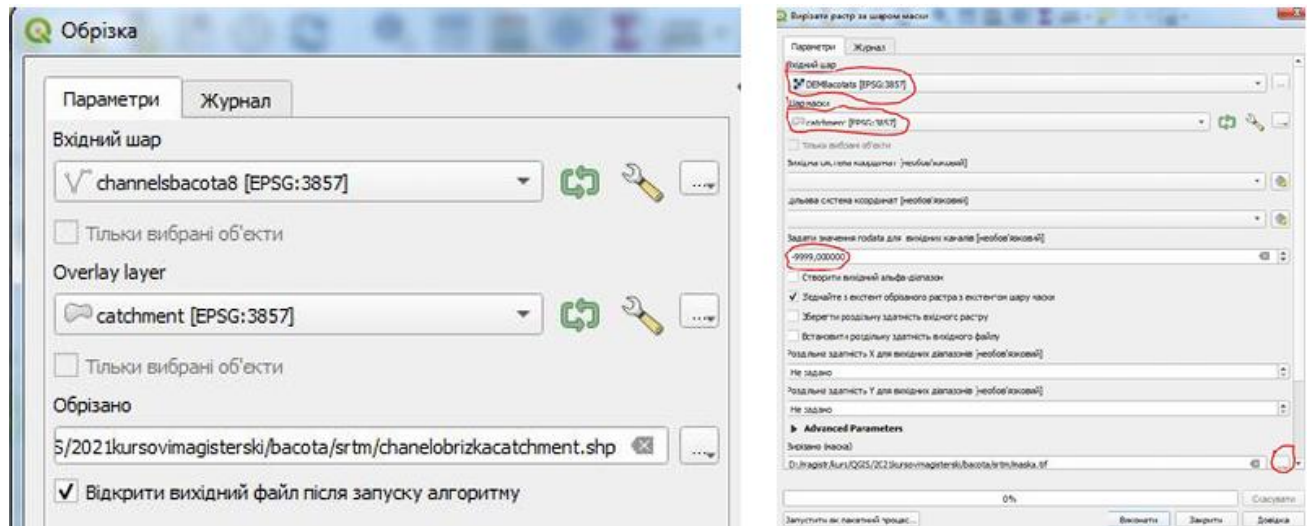


Рис.3.32 Налаштування обрізки векторних об'єктів (а) та маски по ЦМР.

Через контекстне меню шару ЦМР у вкладці **Стилі** необхідно скопіювати існуючий стиль і застосувати його до нового шару, створеного за маскою, скориставшись опцією вставлення стилю (Рис.3.33).

Отримане зображення ЦМР залишається растровим. Для покращення візуалізації рельєфу та подальшого його перетворення у векторний формат необхідно створити горизонталі.

Це виконується через меню **Растр** → **Вилучення** → **Ізолінії**, де задаються параметри формування ліній. Встановлюється інтервал проведення ізоліній – у нашому випадку 20 метрів, що відповідає масштабу карти 1:100 000. Після створення шару в його властивостях слід змінити колір ізоліній на чорний та налаштувати товщину ліній (Рис.3.34).

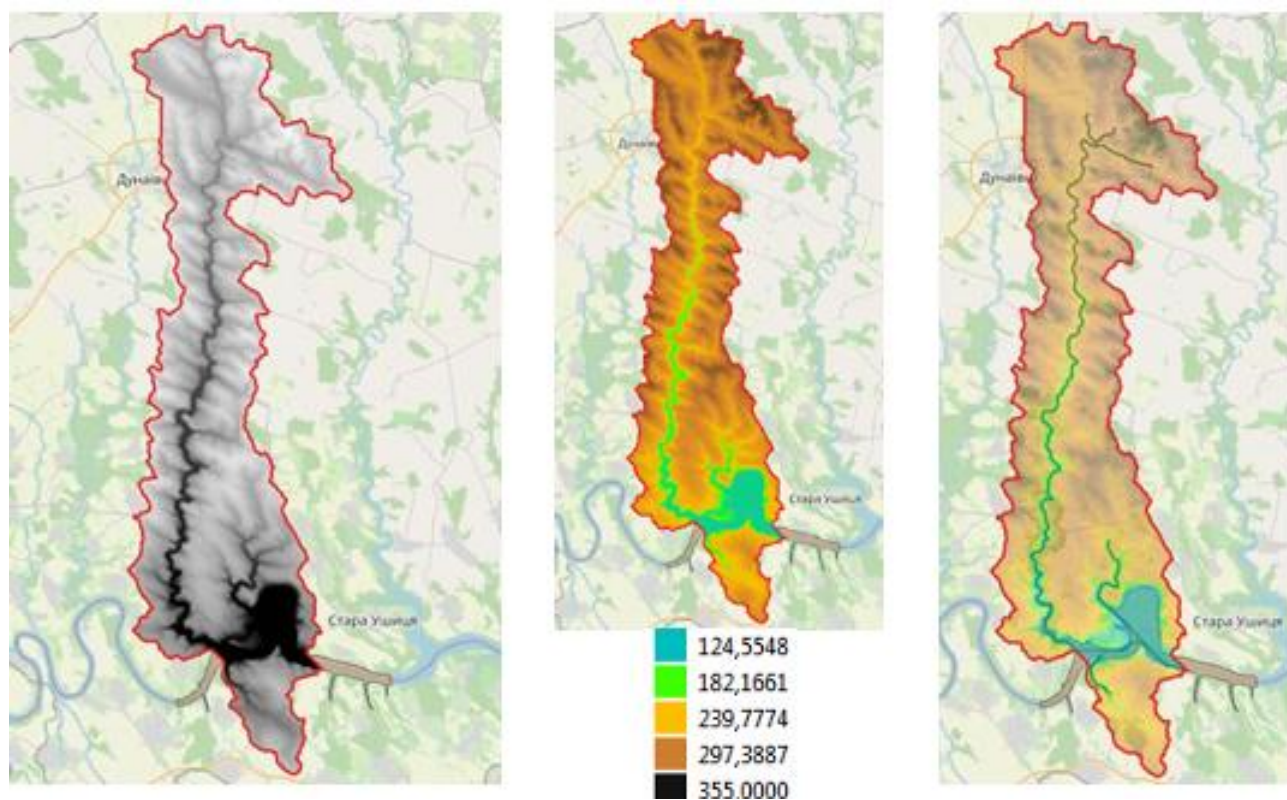
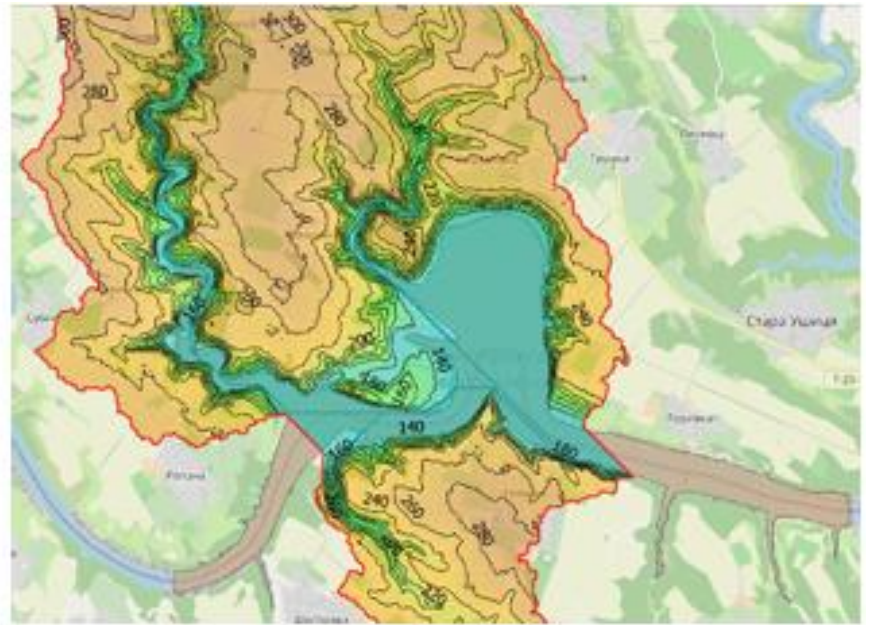


Рис.3.33 Обрізка та налаштування растрового зображення ЦМР по масці векторизованого басейну





Середня частина



Південна частина

Рис.3.34 Візуалізований лінійний рельєф через горизонталі для території Бакотської затоки в ГІС QGIS

3.5 Аналіз відповідності абсолютних висот ізоліній створеного рельєфу та пунктів ДГМ

У попередньому етапі було здійснено створення та візуалізацію рельєфу території Бакотської затоки за допомогою тіньової відмивки та ізоліній. Наступним завданням стало оцінювання точності використання абсолютних висот, отриманих із ЦМР, для досліджуваної території та потенційно для інших територій із застосуванням SRTM-зображень.

Одним із методів є визначення абсолютної висоти за ізолініями рельєфу та порівняння її з висотними даними пунктів Державної геодезичної мережі (ДГМ). Функціональні можливості геопорталу ДГМ (Рис.3.35) дозволяють ідентифікувати на території досліджень пункти мережі та отримати їхні характеристики: просторове положення, висоти, додаткові особливості розташування.



Рис.3.35 Розміщення пунктів ДГМ довкола Бакотської затоки

На території досліджень розташовані численні пункти ДГМ, проте найближчі до об'єкта – пункти 2-го класу: Комарів, Бодачівка, Рункошів. У безпосередній близькості – пункт 3-го класу Теремці, а трохи далі – Калинівка, Лисківці, а також пункти розрядної геодезичної мережі: Колодіївка, Рогізна, Кути. Відсутність пунктів 1-го класу поряд із Бакотською затокою та більш висока точність пунктів 2-го класу призвели до використання для подальших розрахунків пункту Рункошів.

Геодезична інформація про пункт	
Індекс пункту	M353420000
Назва пункту	Рункошів
Тип центру	1 оп
Глибина залягання центру, м	
Номер марки	36378
Тип знаку	піраміда
Висота знаку, м	5.7
Належність до мережі	планова
Клас планової мережі	2
Клас нівелірної мережі	III
Метод визначення координат	лінійно-кутова побудова
Метод визначення висоти	геометричне нівелювання
x, м	5 390 171.00
y, м	5 500 405.00
B, град.	48.64
L, град.	27.01
mx, м	0.023
my, м	0.026
N (висота над рівнем моря), м	301.00



Рис. 3.36 Характеристика пункту 2-го класу ДГМ Рункошів

Детальний аналіз характеристик пункту Рункошів (Рис.3.36) показав, що метод визначення координат – лінійно-кутова побудова, метод визначення висоти – геометричне нівелювання, висота над рівнем моря – 301 м, координати та висоти наведені з розмірністю 1 м. Використано наявні координати пункту для створення точкового векторного шару в QGIS та подальшого порівняння висоти з горизонталлю, що проходить через нього.

Для цього спочатку створено новий Shapefile із визначенням точкового об'єкта, його розташування та назви. Додано необхідні атрибутивні поля: клас ДГМ, ім'я, координати X, Y та висота пункту Z, після чого підтверджено створення шару (Рис.3.37). Далі, обравши точковий шар, через підменю **Вектор** → **Інструменти геометрії** → **Додати інструменти геометрії** додано параметри координат X та Y до таблиці атрибутів, що дозволило перевірити правильність створення нових полів та підготувати дані для порівняння з висотою ЦМР.

Включивши можливість редагування шару можна створити потрібні точкові об'єкти. У нашому випадку це пункт ДГМ 2-го класу Рункошів (Рис.3.37)

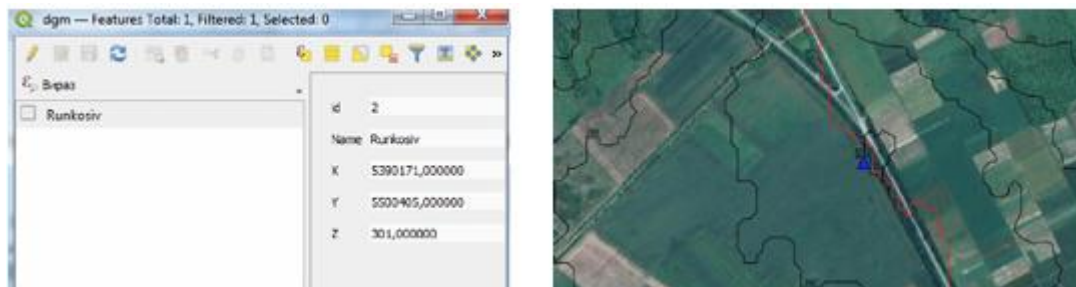


Рис.3.37 Розташування та атрибути векторного точкового шару пункту ДГМ 2 класу Рункошів з візуалізованими горизонталями висот поблизу Бакотської затоки

Увімкнувши шар із векторизованими ізолініями та виконавши оверлейний аналіз із точковим об'єктом ДГМ Рункошів, виявлено, що пункт 2-го класу розташований поблизу горизонталі висотою 300 м. Масштабування зображення дозволило встановити, що координати пункту знаходяться всередині замкненої горизонталі, що вказує на підвищення рельєфу. Проведений аналіз показав досить точне співпадіння векторизованих горизонталей ЦМР із висотними характеристиками пункту ДГМ Рункошів, координати якого були імпортовані з

геопорталу ДГМ, підтверджуючи придатність отриманих даних для подальшого використання у дослідженнях території.

Створено векторизовані тематичні шари території досліджень у середовищі QGIS. Перетворення растрових даних у векторні виконано двома методами: перший базувався на ручному дешифруванні водного об'єкту, другий – на напівавтоматичному способі. Перший метод має як переваги, так і обмеження, тоді як другий забезпечує більш ефективне опрацювання завдяки використанню космічних знімків території з архіву Геологічної служби США (USGS), доступних на платформі EarthExplorer. Використання окремих каналів космічних знімків у поєднанні з функціоналом ГІС дозволило розрахувати спектральні індекси та створити цифрову модель рельєфу території досліджень. В результаті отримано векторизований полігональний об'єкт басейну та лінійний шар допливів. Проведено порівняння абсолютних висот ізоліній створеного рельєфу із даними пунктів ДГМ, що дозволило оцінити точність і об'єктивність використання абсолютних висот ЦМР на території досліджень та потенційно для будь-якої іншої території при застосуванні SRTM-зображень.

4 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Територія «Бакотська затока» розташована в межах нижньої течії річки Дністер та є одним із найбільш цінних у природоохоронному відношенні ландшафтних комплексів південно-західної частини України. Формування акваторії затоки пов'язане зі створенням Дністровського водосховища, що суттєво змінило природні гідрологічні та геоморфологічні умови території. У зв'язку з високою рекреаційною привабливістю, значним антропогенним навантаженням та наявністю унікальних природних комплексів, питання охорони навколишнього природного середовища на даній території мають стратегічне значення та потребують системного, комплексного регулювання.

Природно-екологічна характеристика території. Бакотська затока характеризується поєднанням скельних берегів, крутих схилів, балкової мережі та хвилястого лесового плато. Територія вирізняється значною ландшафтною мозаїчністю, що зумовлює високе біологічне різноманіття. Тут формуються природні та напівприродні екосистеми лісового, лучного та степового типу, які перебувають у тісному взаємозв'язку з водними екосистемами Дністровського водосховища.

Клімат району помірно континентальний, з теплим літом та відносно м'якою зимою, що сприяє формуванню сприятливих умов для розвитку рослинного покриву, але водночас створює передумови для активізації ерозійних процесів у періоди інтенсивних опадів і різких коливань температур. Ґрунтовий покрив представлений переважно темно-сірими лісовими ґрунтами, дерново-карбонатними та опідзоленими чорноземами, які є чутливими до порушення природного рослинного покриву.

Особливу природоохоронну цінність мають прибережні схили та заплавні ділянки, які виконують функції природних регуляторів водного балансу, забезпечують фільтрацію поверхневого стоку та є важливими осередками збереження біорізноманіття.

Основні екологічні загрози та ризики. Стан навколишнього природного середовища в межах Бакотської затоки формується під впливом комплексу природних та антропогенних факторів, які мають як локальний, так і регіональний характер. Природні процеси, характерні для прибережних ландшафтів та крутих схилів, посилюються внаслідок господарської діяльності людини, рекреаційного навантаження та порушення природної рівноваги екосистем. Поєднання цих факторів створює передумови для виникнення низки екологічних загроз і ризиків, що негативно впливають на стан водних, земельних та біологічних ресурсів території.

До найбільш актуальних екологічних загроз належать:

- ✚ посилення процесів площинної та лінійної водної ерозії ґрунтів на схилах, що проявляється у змиві родючого шару, утворенні ярів та балок, деградації ґрунтового покриву та зниженні його водоутримувальної здатності, а також у винесенні дрібнозему до водних об'єктів;

- ✚ розвиток зсувних явищ у зоні крутих берегів та уступів, що супроводжується деформацією рельєфу, руйнуванням природних схилів, утворенням тріщин та локальними обвалами, які можуть нести загрозу для природних екосистем та тимчасових рекреаційних об'єктів;

- ✚ забруднення поверхневих вод органічними речовинами та побутовими відходами, що призводить до підвищення вмісту біогенних елементів, замулення прибережної зони, розвитку евтрофікаційних процесів та погіршення санітарно-гігієнічних показників води;

- ✚ локальне погіршення якості води внаслідок несанкціонованого купання та використання мийних засобів, що спричиняє надходження у воду синтетичних поверхнево-активних речовин, фосфатів, мікропластику та інших забруднювачів, небезпечних для водних організмів;

- ✚ порушення структури рослинного покриву через витоптування та розорювання прибережних ділянок, що зумовлює деградацію трав'яного покриву, зменшення щільності дернини, оголення ґрунту та втрату природної стійкості екосистем до ерозійних процесів;

✚ фрагментація природних біотопів унаслідок прокладання стихійних доріг і туристичних маршрутів, що призводить до ізоляції окремих ділянок природних комплексів, порушення міграційних шляхів тварин та зниження загальної екологічної цілісності території;

✚ загроза виникнення лісових і лучних пожеж у посушливі періоди, яка зростає в умовах високих температур, тривалої відсутності опадів та необережного поводження людей з вогнем, що може призводити до масштабного знищення рослинності, загибелі тварин і деградації природних ландшафтів.

Додатковими факторами екологічного ризику для території Бакотської затоки є неконтрольоване рекреаційне навантаження, самовільне облаштування місць відпочинку, використання моторних човнів без належного контролю, а також можливі наслідки змін клімату, що проявляються у збільшенні частоти екстремальних гідрометеорологічних явищ. Сукупна дія зазначених ризиків потребує постійного екологічного моніторингу, впровадження превентивних заходів та удосконалення системи управління природокористуванням на даній території.

Заходи з охорони навколишнього середовища. Для забезпечення екологічної рівноваги, збереження природних комплексів та раціонального використання природних ресурсів на території Бакотської затоки передбачається впровадження розширеного, системного комплексу природоохоронних заходів, спрямованих на попередження деградаційних процесів, зменшення антропогенного навантаження та формування екологічно безпечного середовища. Реалізація зазначених заходів має здійснюватися з урахуванням природно-кліматичних особливостей території, чинних нормативно-правових вимог і принципів сталого розвитку.

Охорона водних ресурсів передбачає суворе дотримання режиму водоохоронних зон та прибережних захисних смуг відповідно до вимог Водного кодексу України, регламентування господарської діяльності у прибережній зоні, організацію спеціально відведених і облаштованих місць для централізованого купання населення, заборону розміщення тимчасових та капітальних споруд у

межах прибережної захисної смуги, а також здійснення постійного контролю за скиданням зворотних і дощових вод. Додатково передбачається впровадження заходів з очищення поверхневого стоку, облаштування локальних очисних споруд та інженерних захисних систем для запобігання забрудненню акваторії.

Захист ґрунтів і земельних ресурсів здійснюється шляхом впровадження комплексу протиерозійних, меліоративних та агротехнічних заходів, спрямованих на стабілізацію ґрунтового покриву та підвищення його стійкості до деградації. Передбачається терасування крутих схилів, залуження деградованих та малопродуктивних земель, застосування ґрунтозахисних сівозмін, мінімальної обробки ґрунту та мульчування. Додатково планується створення смуг багаторічних трав'янистих та деревно-чагарникових насаджень на ерозійно небезпечних ділянках для закріплення схилів і зменшення поверхневого змиву.

Збереження біорізноманіття забезпечується шляхом встановлення спеціальних режимів охорони для рідкісних і зникаючих видів рослин і тварин, визначення та охорони ключових біотопів, а також створення охоронних зон навколо місць гніздування та розмноження представників фауни. Передбачається обмеження або тимчасова заборона окремих видів господарської діяльності в періоди масового розмноження та міграції тварин, заборона збору лікарських та декоративних рослин у природних угрупованнях, регулювання лісокористування з обов'язковим проведенням відновлювальних лісгосподарських заходів та вибіркових санітарних рубок.

Регулювання рекреаційної діяльності передбачає функціональне зонування території з виділенням зон інтенсивного та обмеженого відпочинку, створення спеціально облаштованих майданчиків для короткострокового та тривалого перебування відвідувачів, облаштування туристичних стоянок і місць для пікніків. Планується встановлення інформаційних та попереджувальних стендів, облаштування екологічних стежок, оглядових майданчиків і спеціальних маршрутів, що дозволить спрямувати потоки відпочивальників та мінімізувати негативний вплив на найбільш вразливі природні комплекси.

Система поводження з відходами базується на впровадженні сучасних принципів управління відходами, зокрема організації роздільного збору твердих побутових відходів, облаштування контейнерних майданчиків, регулярного централізованого вивезення сміття та ліквідації несанкціонованих сміттєзвалищ. Передбачається також проведення інформаційно-просвітницьких заходів серед місцевого населення та туристів, спрямованих на формування екологічної культури, відповідального ставлення до природних ресурсів та дотримання правил поведінки у природному середовищі.

Висновок. Комплексна реалізація природоохоронних заходів у межах території «Бакотська затока» є необхідною передумовою збереження унікальних природних ландшафтів, стабілізації екологічного стану регіону, підвищення рівня екологічної безпеки та забезпечення умов для сталого розвитку рекреаційної діяльності без завдання шкоди довкіллю. Такий підхід сприятиме формуванню збалансованої моделі природокористування та гармонійному поєднанню інтересів охорони природи і соціально-економічного розвитку території.

ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломної роботи проведено комплексний аналіз процесів введення просторових та атрибутивних даних у геоінформаційні системи, а також здійснено створення й оцінювання наборів геоданих для території дослідження із застосуванням сучасних ГІС-технологій та матеріалів дистанційного зондування Землі.

1. **Проаналізовано та описано процедури введення даних у ГІС,** встановлено, що способи завантаження атрибутивної та просторової інформації залежать від типу джерела, його структури та формату. Визначено, що сучасні ГІС-продукти забезпечують імпорт даних із різних джерел, що підвищує гнучкість і точність формування баз геоданих.

2. **Використано дані геопорталу Адміністративно-територіального устрою України** як базове джерело просторової та атрибутивної інформації про геооб'єкти території дослідження. На основі цих матеріалів здійснено аналіз фізико-географічних характеристик досліджуваної місцевості.

3. **Створено векторизований шар території дослідження у QGIS методом ручного дешифрування.** Встановлено, що метод забезпечує високу деталізацію, проте є чутливим до помилок оператора, зокрема до неточного розміщення поворотних точок полігону. Додатковим недоліком виявлено невідповідність окремих ділянок місцевості сучасному стану об'єктів, що зумовлено актуальністю вихідних даних.

4. **Виконано напівавтоматичне дешифрування космічних знімків із архіву USGS,** що дозволило сформувати більш точний векторизований шар на основі спектральних характеристик поверхні. Застосування спектральних індексів, зокрема NDVI, дало змогу підвищити точність окреслення меж Бакотської затоки та забезпечило збіжність берегової лінії з даними супутникового знімка.

5. **Проведено оверлейний аналіз історичних та сучасних супутникових даних (Landsat 1976 р. і Sentinel 2021 р.),** який показав загальне

співпадіння русла річки Дністер у часовій динаміці. Визначено максимальну ширину русла у межах Бакотської затоки — 3993 м. На основі даних SRTM створено цифрову модель рельєфу території, побудовано горизонталі, векторизовано басейнову область та лінійні допливи.

6. Оцінено точність визначення абсолютних висот на основі SRTM-даних шляхом порівняння з пунктами державної геодезичної мережі. Проаналізовано характеристики пунктів ДГМ у межах дослідження, зокрема пункту 2-го класу Рункошів. Отримані результати засвідчили високу достовірність і відповідність векторизованих горизонталей побудованої ЦМР фактичним висотам, що підтверджено збігом з висотними даними ДГМ.

Загалом проведене дослідження підтвердило ефективність поєднання методів ручного та напівавтоматичного дешифрування, а також використання даних супутникової зйомки та державних геодезичних ресурсів для створення точних і змістовних геопросторових моделей території. Отримані результати можуть бути використані для подальших наукових і прикладних цілей у сфері геоінформаційного забезпечення, екологічного аналізу та землеустрою.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування: монографія / [за ред. В. І. Лялько, М. О. Попова]. Київ, Наук. думка, 2006. 360 с.
2. Бондаренко Е. Л. Геоінформаційна схема картографування. Часопис Картографії. Київ: "Обрії", 2011. С. 58–63. 17.
3. Бондаренко Е.Л. Створення віртуальних карт регіонів як один із способів Web-картографування. Картографія та вища школа. 2003. №8. С. 59–63.
4. Водно-болотні угіддя України. Марушевський Г. Б., Жарук І. С., Фесенко Г. В та ін. К.:Чорноморська програма Ветландс Інтернешнл, 2006. 312 с.
5. Географічні інформаційні системи: Підручник. Мосов С.П., Тарасов В.М., Чорнокнижний О.А., Куковський С.А., Брезіцький Е.Ю. Київ, НАОУ, 2005, 240 с
6. Геоінформаційне картографування в Україні: концептуальні основи і напрями розвитку. [Л. Г. Руденко, Т. І. Козаченко, Д. О. Ляшенко, А. І. Бочковська, А. П. Дишлик, В. С. Чабанюк, В. В. Путренко]; за ред. Л. Г. Руденка. Київ, Наукова думка, 2011, 102 с.
7. Гордій Н.М. Денні лускокрилі водно-болотного угіддя міжнародного значення "Бакотська затока". Подільський природничий вісник. 2010. Вип. 1.-С. 25-39.
8. Гуцул Т.В., Скрипник Я.П. Практикум з основ ГІС та геоінформаційного картографування: Чернівці. ЧНУ, 2014. 171 с. Навчально-методичний посібник.
9. Дідух Я.П. Геоботанічне районування України та суміжних територій. Укр. ботан. журн. 2003. Т. 60. №4. С. 447-463.
- 10.Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.ecomm.kiev.ua/>
- 11.Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.ginews.co.uk/>
- 12.Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.kmc-geo.kiev.ua>

- 13.Електронний ресурс]. Режим доступа: <https://atu.gki.com.ua/ua/karta/>
- 14.Електронний ресурс]. Режим доступа: <https://decentralization.gov.ua/>
- 15.Жупанський Я.І., М.М. Куниця, Л.І. Воропай, М.О. Жук, М.О. Куниця, В.С. Антонов, М.І. Кирилюк, В.П. Коржик, Б.К. Термена, В.П. Руденко, В.П. Круль, В.О. Джаман, Н.І. Коновалова, П.О. Сухий Географія 70 Чернівецької області. Наук. Посібник Чернівців, 1993. 190 с.
- 16.Заповідні перлини Хмельниччини. Під ред. Т.Л. Андрієнко. Хмельницький : Інтрада, 2006. 220 с.
- 17.Канівець О.М. Застосування ГІС-технологій в геодезії [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://repo.sausumyua/bitstream/123456789/2302/1Pdf>
- 18.Ковальова В. Реформа місцевого самоврядування: замість держадміністрацій створять виконкоми обласних і районних рад. Урядовий кур'єр. 2015.
- 19.Козаченко Т. І., Курач Т. М. Геоінформаційне картографування науки та інноваційної діяльності в Україні . Вісн. геодезії та картографії. 2004. №3. С. 32-43.
- 20.Колишко Р.А. Децентралізація публічної влади: історія та сучасні тенденції розвитку. Вісник КНУ. Серія «Міжн. відн.». 2015. Вип. 27. С. 198.
- 21.Контроль стану лісових ресурсів світу за допомогою дистанційного зондування та моніторингу [Електронний ресурс]. Режим доступа: <http://www.fao.org/newsroom/ua/news/2025/1000884/index.html>.
- 22.Матвеев М.Д. «Бакотська затока» водно-болотне угіддя міжнародного значення. Вісник Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Природничі науки. Вип. 2. Кам'янець-Подільський : Аксіома, 2010. С. 116-121.
- 23.Постельняк А. А. Оцінювання точності висот цифрових моделей рельєфу SRTM та ASTER GDEM . Вісник геодезії та картографії. 2013. №4. С. 17–21.
- 24.Самойленко В.М. Основи геоінформаційних систем. Методологія: Навчальний посібник. Київ, Ніка-Центр, 2003. 276 с.

25.Скрипник Я.П. Основи геоінформаційних технологій. Методичні вказівки та завдання до практичних і лабораторних робіт. Чернівці: Рута, 2004. 44с. 71

26.Смалійчук А. Д. Актуальний наземний покрив північної частини Хмельницької області на основі даних дистанційного зондування Землі. Вісник Львів. ун-ту. Сер. геогр. 2014. Вип. 48. С. 180–187.

27.Статистичний щорічник Хмельницької області за 2016 рік. Головне управління статистики у Хмельницькій області; за ред. А. В. Ротаря. Хмельницький, 2017. 534 с.

28.Третьак А.М. Землевпорядне проектування: Теоретичні основи і територіальний землеустрій: Навч. Посібник. Київ, Вища освіта, 2006. 528 с.

29.Шипулін В. Д. Основні принципи геоінформаційних систем Харків : ХНАМГ, 2012. 312 с.

30. Методичні рекомендації для написання кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти ОС «Магістр» за спеціальністю 193 Геодезія та землеустрій / Укл.: Колодій П., Таратула Р. – Львів, ЛНУП, 2023. – 33 с.