



УДК 911.2:556.5+004.94

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.15.2026.11>

МІЖНАРОДНІ МЕТОДОЛОГІЇ МОДЕЛЮВАННЯ РІЧКОВИХ МЕРЕЖ: ПОРІВНЯЛЬНИЙ ОГЛЯД ТА АДАПТАЦІЯ ДЛЯ УКРАЇНИ

Д. І. Ігонькін¹, В. Ю. Ющенко²

У статті проаналізовано міжнародний досвід створення та підтримки картографічних і геоінформаційних даних річкових систем у провідних країнах і наднаціональних структурах, зокрема у Сполученому Королівстві, Сполучених Штатах Америки та Європейському Союзі. Розглянуто підходи, що застосовуються для просторової ідентифікації водотоків. Розглянуто набір даних та алгоритми, які використовуються в цих державах (на основі публічної інформації). Показано особливості організації національних і пан'європейських гідрографічних баз даних, а також їхні методологічні та просторові обмеження.

Метою дослідження є розробка методики ідентифікації річок низьких порядків на основі аналізу наукового досвіду розвинутих країн і результатів власного моделювання річкової мережі. Цю методику доцільно використовувати в Україні в сучасних умовах.

У роботі запропоновано використовувати дані дистанційного зондування Землі ALOS PALSAR та формувати річкову мережу за допомогою інструментів Geomorphons, flow accumulation і black top-hat у геоінформаційній системі QGIS.

Запропонована методика розглядається як інструмент формування більш повної та обґрунтованої моделі річкової мережі, що створює передумови для визначення порядкової структури річкових систем і виділення річкових басейнових систем хоричного рівня. Отримані результати можуть бути використані в задачах інтегрованого управління річковими басейнами та ландшафтно-басейнового планування в Україні.

Ключові слова: геоінформаційна система, гідрологічні дані, управління річковими басейнами, порядкова структура річкових систем, хоричний рівень, регіональний рівень, річкові ландшафти, закономірності взаємодії суспільства і природи.

¹ аспірант кафедри географії України та регіоналістики
(Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, м. Чернівці)
e-mail: ihonkin.dmytro@chnu.edu.ua
ORCID: 0009-0009-6829-6091

² аспірант кафедри географії України та регіоналістики
(Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, м. Чернівці)
e-mail: yushchenko.vasyly@chnu.edu.ua
ORCID: 0009-0002-7533-0859

INTERNATIONAL METHODOLOGIES FOR RIVER NETWORK MODELING: A COMPARATIVE REVIEW AND ADAPTATION FOR UKRAINE

D. I. Igonkin, V. Yu. Yushchenko

The article analyzes international experience in the creation and maintenance river system maps in leading countries, including the United Kingdom, the United States, and the European Union. Approaches used for the spatial identification of watercourses are reviewed, along with the datasets and algorithms applied in these countries based on publicly available information. The study highlights the organizational features of national and pan-European hydrographic databases, as well as their limitations.

The aim of the article is to analyze international approaches to river network identification and, based on the synthesis of global experience and taking into account the current natural conditions of Ukraine, to develop a methodological approach for identifying rivers, including low-order streams.

The study proposes the use of ALOS PALSAR Earth observation data and the construction of river networks using Geomorphons, flow accumulation, and black top-hat tools within the QGIS geographic information system.

The proposed methodology is considered as a tool for constructing a more comprehensive and scientifically grounded model of the river network, creating a basis for determining the hierarchical structure of river systems and delineating river basin systems at the local level. The results can be applied to integrated river basin management and landscape–basin planning in Ukraine.

Key words: *Geographic information system (GIS), hydrological data, river basin management, hierarchical structure of river systems, local level, regional level, river landscapes, patterns of interaction between society and nature.*

Вступ

Знання порядкової структури річкових систем є важливими як з природничо-гідрологічного погляду, так і з сучасного прикладного, екологічного, геоекологічного (Forman, 1995; Ковальчук, 1997; Гродзинський, 2005; Пилипович, 2017; Ющенко та ін., 2017). Зокрема, це стосується питань планування управління річковими басейновими системами (РБС). Такі дослідження вже тривалий час виконуються в Чернівецькому національному університеті імені Юрія Федьковича (Ющенко та ін., 2012; Ющенко та ін., 2017; Yushchenko et al., 2022; Заячук та ін., 2025; Pasichnyk et al., 2025). Важливою проблемою є інтеграція різних видів планування для оптимізації управління річками. Зокрема, це інтеграція ландшафтного та басейнового планування. Адже на основі русел і заплав річок сформовані та розвиваються особливі ландшафти як цілісні геосистеми. У цьому напрямі досліджень запропоновано концептуальну модель РБС «крона – стовбури» (Ющенко та ін., 2012; Ющенко та ін., 2017). До крони належать складові хоричного рівня, а до стовбурів – регіонального (Гродзинський, 2005). Орієнтовна межа хоричного рівня пов'язана системами 4-го або 5-го порядку, такими, що перебувають в однорідних геоморфологічних та фізико-географічних умовах і значною мірою підкоряються впливу цих умов. Для ідентифікації межі хорич-

ного рівня потрібно мати об'єктивну інформацію про річки перших порядків. На цей час в Україні відсутня обґрунтована стандартна методика такої ідентифікації. Отже, відсутня і база даних. Тож об'єктивно існує актуальне завдання формування методики ідентифікації річок перших порядків для вирішення питань управління річковими системами хоричного рівня.

Метою дослідження є розробка методики ідентифікації річок низьких порядків на основі аналізу наукового досвіду розвинутих країн і результатів власного моделювання річкової мережі. Цю методику доцільно використовувати в Україні в сучасних умовах.

У дослідженнях річкових систем в Україні зазвичай використовують мапи (Ковальчук, 1997) (переважно мапи генерального штабу 1980-х років) або дані дистанційного зондування Землі (Андрейчук, 2012). При цьому жодне із цих джерел є недостатньою точності для визначення річок нижчих порядків.

Для прикладу розглянемо витoki річки Стебник. На рис. 1 жовтими крапками зображено частину русла, визначену під час експедиційного дослідження за допомогою GPS-приймача з горизонтальною точністю до 5 метрів. Як бачимо, масштаб мап генерального штабу (Карта генштабу, 1977) не дає можливості аналізувати річки таких порядків, при цьому відкриті картографічні дані Google maps (Google maps,

2025) та Open Street Maps (OpenStreetMap contributors, 2025) показують результати, які не збігаються з результатами комп'ютерного моделювання на основі даних ALOS PALSAR (ASF DAAC, 2014), виконаного за допомогою інструмента Flow Accumulation у геоінформаційній системі QGIS.

Матеріал і методи

У Сполученому Королівстві функціонують дві основні установи, що займаються геопросторовими дослідженнями річкових систем, – Центр екології та гідрології (Centre for Ecology & Hydrology, CEH) та Національне картографічне агентство (Ordnance Survey). Їхня діяльність забезпечує інтегроване картографування річкових мереж на основі поєднання гідрологічних, топографічних та дистанційних даних.

У 1994 році CEH здійснив перше комплексне документування річкової мережі Великої Британії (Moore et al., 1994), що стало основою для подальшого розвитку національної бази гідрографічних даних. Ці дані регулярно оновлюються та вдосконалюються з урахуванням нових спостережень. Центр підтримує мапу річкової системи у масштабі 1 : 50 000, створену на основі картографічних матеріалів Ordnance Survey. Дані містять такі компоненти: річки, меліоративні канали, лінії водопостачання та інші водойми (включно з естуаріями, центральними лініями озер та деякими підземними водоймами) (UKCEH digital river network of Great Britain (1:50,000), 2025). Важливо зазначити, що набір даних CEH є представленням річкової мережі Великої Британії у вигляді набору лінійних сегментів, а не геометричної мережі, це означає,

що він не повинен використовуватися для моделювання, що потребує аналізу зв'язності водної мережі (Centre for Ecology & Hydrology, 2025).

Цифрова річкова мережа CEH зберігається та розповсюджується в різних ГІС-форматах, включно з ArcInfo interchange (E00), GML, MITAB, OGC KML та Shapefile. Дані зберігаються як файли і можуть бути отримані через прямі посилання для завантаження або через WMS-сервіси (WSKE Portal).

Іншою частиною інтелектуальної системи даних CEH є JASMINE, який є унікальним суперкомп'ютером для екологічних досліджень із можливістю швидкої обробки великих об'ємів даних. JASMINE задовольняє вимоги до аналізу даних і моделювання, які наразі висуваються європейською та британською екологічною спільнотою, складаючись із багатопетабайтного швидкісного сховища даних, розміщеного разом з надпотужними серверами для аналізу даних (Centre for Environmental Data Analysis). JASMIN надає науковим спільнотам Великої Британії та Європи, що займаються дослідженням клімату та земних систем, можливість доступу до дуже великих наборів екологічних даних, які зазвичай є занадто великими для завантаження на їхні власні комп'ютери, та швидкої обробки цих даних, скорочуючи час, необхідний для перевірки нових теорій та отримання результатів, з місяців або тижнів до днів або годин.

JASMIN є національною платформою Великої Британії для аналізу екологічних даних – гібридним суперкомп'ютером і центром обробки даних, спеціально розробле-

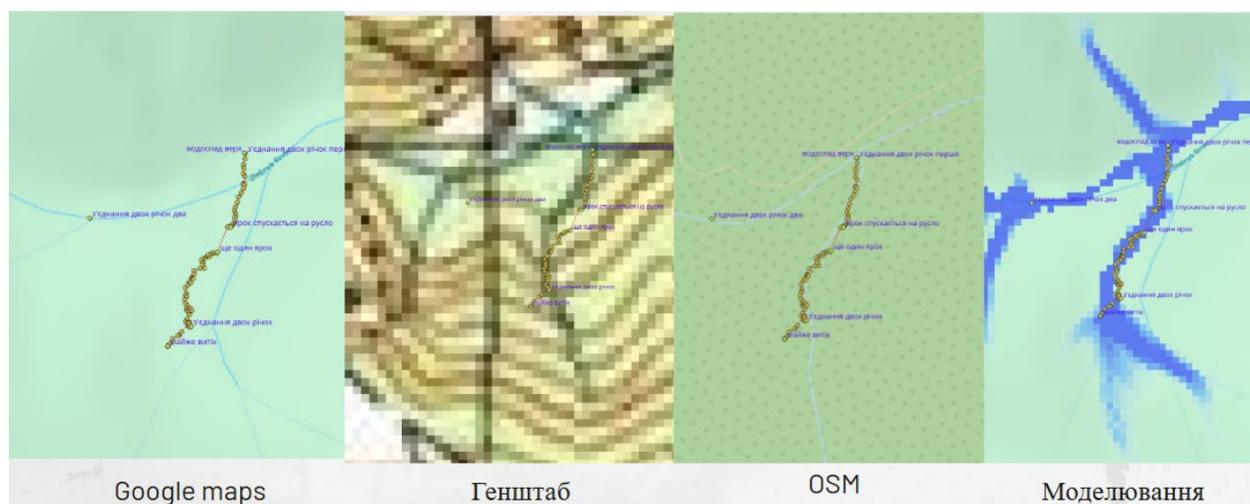


Рис. 1. Порівняння наявних даних

ним для роботи з максимально великими наборами екологічних даних.

Національне картографічне агентство забезпечує картографічну основу для гідрологічних моделей, підтримуючи цифрові карти водних ресурсів у масштабах від 1 : 1250 до 1 : 10 000. Важливу роль у деталізації річкових систем, особливо нижчих порядків, відіграє Національна LIDAR-програма, що охоплює близько 99 % території країни з роздільною здатністю від 1 м до 0,25 м на піксель.

На основі цих даних Агенція довкілля (Environment Agency) моделює потенційні потоки, вважаючи, що водотік формується з мінімального водозбору площею 1 га. Таке моделювання дає змогу визначати як постійні, так і сезонні водотоки, включно з тими, що протікають у природних або штучних руслах. Проте цей метод не гарантує стовідсоткової відповідності модельованих даних реальним даним.

Хоча точна методологія побудови цих моделей не є публічною, британський підхід базується на інтеграції високоточного рельєфного моделювання з картографічними та гідрологічними спостереженнями. Це створює ефективну систему для просторової ідентифікації річкових систем нижчих порядків та управління водними ресурсами.

Основним науковим органом, що займається збором, аналізом і поширенням інформації про водні ресурси в США, є Геологічна служба США (USGS). Її Програма тривимірної гідрографії (3D Hydrography Program, 3DHP), заснована на даних Національної програми тривимірної висоти (3DEP), забезпечує регулярне оновлення просторового відображення поверхневих вод країни.

Згідно зі специфікаціями Elevation-Derived Hydrography Data Acquisition Specifications 2024 rev. A2 (U.S. Geological Survey, 2024), річкова мережа формується на основі цифрової моделі рельєфу (DEM), отриманої з LiDAR або у складних умовах (наприклад, на Алясці) з інтерферометричної радарної зйомки IfSAR. Дані обробляються в єдиній координатній системі з роздільною здатністю 1 × 1 м, що дає можливість відображати потоки нижчих порядків.

Точки дискретного відбиття LiDAR, що зберігаються в хмарному сховищі, доступні у форматі LAZ, який є стисненою версією формату LAS Американського товариства фотограмметрії та дистанційного зондування (ASPRS). Мільйони точок зберігаються як тривимірні дані у вигляді серії координат

x, y та z (висота) з географічною прив'язкою, а також із можливістю прив'язки інших атрибутів для кожної точки (Lidar Point Cloud, 2024).

У 2020 році цифрові моделі рельєфу (DEM), були перетворені у формат Cloud Optimized Geotiff (COG), що покращує час обробки та зберігання, а також підтримує нові сучасні можливості хмарної обробки даних. Базовий формат файлу залишається GeoTIFF, тому застаріле програмне забезпечення може читати його без модифікацій (USGS, 2025).

Дані 3DEP управляються через файлову систему з використанням хмарного об'єктного сховища (AWS S3), а не традиційного механізму просторової бази даних. Метадані організовані в геопакети, а фактичні дані про висоту залишаються у вигляді окремих файлів, до яких здійснюється доступ через вебсервіси, API та через безпосереднє завантаження файлів.

Для підтвердження правильності розташування річкових мереж застосовуються алгоритми на основі цифрової моделі рельєфу, об'єднані у Geomorphic Index (GMI) – інтегрований показник, який визначає ділянки ймовірного водостоку

До складу GMI входять чотири компоненти:

– Geomorphons – алгоритм на основі машинного навчання, який дає змогу класифікувати форми рельєфу (долини, хребти, схили). Він використовується для виявлення низин, де може проходити русло;

– BotHat (Black Top Hat transform) – класичний алгоритм, що здійснює операції з обробки цифрових зображень, дає змогу виявляти локальні западини;

– D-Infinity Flow Accumulation – алгоритм, який моделює потік води на основі цифрової моделі рельєфу;

– Multiscale Elevation Percentile (MEP) – алгоритм, що використовується для визначення западин у рельєфі.

Поєднання цих компонентів дає можливість створювати індексну карту ймовірних русел, де значення GMI = 4 вказує на найвищу ймовірність наявності водотоку. Результати GMI використовуються для валідації просторового положення річкових елементів, перевірки неперервності мережі та виявлення пропусків або помилок класифікації.

У Європейському Союзі не існує єдиного урядового картографічного агентства, однак створення та підтримка гідрогра-

фічних даних координуються через низку організацій, зокрема EuroGeographics, Європейське агентство з навколишнього середовища (ЕЕА), мережу Eionet та програму Copernicus. Основним джерелом гідрографічних даних є продукт EU-Hydro, який є складовою Copernicus Land Monitoring Service (CLMS) (Gallaun et al., 2020).

EU-Hydro – це пан'європейська векторна база річкових мереж і поверхневих вод, створена у 2009–2012 рр. та вдосконалена після 2015 року. Вона охоплює 39 країн ЄЕА і побудована на основі фотограмметричної інтерпретації знімків дуже високої роздільної здатності (2,5–10 м) у поєднанні з цифровою моделлю рельєфу EU-DEM (25 м). Річкові полігони формуються з мінімальною одиницею картографування 1 га у масштабі 1 : 50 000. До допоміжних джерел даних належать ECRINS, WFD, RPZ LU/LC, OSM, MARSgeoDB та GRAND (Gallaun et al., 2020).

Архівований набір даних бази даних річкової мережі EU-Hydro для кожного великого річкового басейну може бути завантажений у векторному форматі (база даних ESRI та SQLite) або у вигляді стисненого файлу, що містить дані з усіх річкових басейнів. Альтернативними способами отримання даних EU-Hydro є ESRI REST сервіси для інтеграції з ArcGIS, а також сервіси OGC WMS для різноманітних вебінтеграцій (European Environment Agency, 2020).

Методологія Copernicus не є повністю відкритою, однак відомо, що вона базується на комбінації:

– цифрового моделювання водозборів із EU-DEM;

– оптичних супутникових даних Sentinel і HR/VHR imagery (2006–2013 рр.);

– просторового узгодження з наявними картами річкових систем Європи (ECRINS, WFD).

Останні оновлення мережі виконано за допомогою оптичних даних надвисокої роздільної здатності (2–4 м) у межах програми Copernicus Land Monitoring Service. Точність розташування основних русел становить близько 25 м, а дрібних приток – до 1 га.

За результатами валідації Copernicus EU-Hydro забезпечує середню достовірність 92–95 % у межах класу постійних водотоків (European Environment Agency, 2019).

Водночас варто відзначити, що наявні картографічні набори даних, включно з EU-Hydro, мають значні просторово-топологічні обмеження, як-от недостатня роздільна здатність рельєфу, неточності

у зв'язках мережі річок і не надто актуальні супутникові знімки. Із цієї причини в межах European Environment Agency (EEA) та Copernicus Land Monitoring Service (CLMS) розпочато проєкт оновлення EU-Hydro (версія 2.0), який передбачає застосування сучасної цифрової моделі рельєфу (COP-DEM 10 м), створення растрових шарів Flow Direction та Flow Accumulation, а також інтеграцію даних про штучні гідротехнічні споруди та берегову лінію (Lehner, 2025).

Результати та їх обговорення

Міжнародний досвід моделювання річкових мереж засвідчує, що основою для створення точної моделі річкової системи є високоточні дані дистанційного зондування та поєднання декількох джерел таких даних і методів їх обробки. Причому навіть моделі, створені на основі високоточних даних, потребують постійних досліджень та уточнень, особливо в разі визначення потоків нижчих порядків. Застосуємо методологію, розглянуту вище, для побудови річкової мережі річки Стебник – притоки річки Сирет.

Оскільки наразі не існує доступних високоточних публічних знімків для території України (не в останню чергу через воєнний стан) ми використовуємо виключно мапу висот ALOS PALSAR (ASF DAAC, 2014). Для побудови моделі застосовуватимемо інструмент Flow Accumulation з алгоритмом Deterministic Infinity (Tarboton, 1997) у геоінформаційній системі QGIS. Алгоритм Deterministic Infinity – це метод для визначення напрямків стоку й обчислення площі водозбору на основі мапи висот. Він представляє напрямок потоку як кут найкрутішого спуску серед восьми трикутних граней, утворених навколо кожної комірки. Такий підхід забезпечує плавніше та реалістичніше моделювання стоку води, усуваючи проблеми замкнених петель і непослідовностей, що часто виникають у попередніх методах (наприклад, D8 чи DEMON). Результати показують, що Deterministic Infinity працює краще або на рівні з найточнішими існуючими алгоритмами, особливо за високої роздільної здатності DEM, і є ефективним, простим та надійним способом аналізу поверхневого стоку.

Для цього алгоритму вважатимемо площу басейну в 1,3 га як таку, що утворює потік. Ця площа є трохи більшою за 1 га, використану Агенцією довкілля для створення мапи водотоку в Сполученому Королівстві, що має надавати консервативний підхід до визначення потоків.

Наступним кроком для перевірки отриманого результату застосуємо інструмент SAGA GIS – Geomorphons. У Геологічній службі США використовують такі параметри: радіус 250, кут 0,5 для IfSAR та радіус 60, кут 1 для LIDAR (U.S. Geological Survey, 2024). Оскільки дані для України мають нижчу точність, використаємо радіус 500 метрів та кут 0,5. При цьому будемо враховувати результати 9 (долина) та 10 (западина).

Інструмент імплементує алгоритм Geomorphons, запропонований Jasiewicz і Stepinski (Jasiewicz & Stepinski, 2013), є методом автоматизованої класифікації форм рельєфу на основі цифрової моделі висот (DEM), що використовує підхід розпізнавання шаблонів замість традиційних методів диференціальної геометрії. Його суть полягає у визначенні так званих geomorphons – тернарних шаблонів локального оточення кожної точки рельєфу, які дають змогу класифікувати територію за морфологічними типами (рівнини, схили, долини, вершини тощо). Алгоритм самостійно адаптує масштаб аналізу до локальних умов, що забезпечує високу точність і ефективність обробки навіть для гігантських масивів даних, охоплюючи континентальні та глобальні масштаби. Результатом роботи методу є інтерпретована геоморфометрична карта, яка узагальнює форми рельєфу та надає просторову структуру ландшафту.

Ще одним показником можливого каналу є результат виконання операції Black Top-Hat, що є однією з класичних операцій математичної морфології, яка використовується для пошуку впадин, тобто ділянок, які нижчі за своє локальне оточення. Цей алгоритм, зокрема, застосовується для знаходження русел за цифровою моделлю рельєфу (Pingel, 2013; U.S. Geological Survey, 2024). Рекомендується використовувати імплементування цього алгоритму з WhiteBox Tools, використовуючи радіус 10.

Отже, ми маємо моделювання потоків на основі інструмента Flow Accumulation та розпізнавання рельєфу на основі Geomorphons та Black Top-Hat. Тож можемо вважати, що маємо русло, наповнене водою (хоча б тимчасово) у певній точці, якщо ми маємо змодельований потік та низину, тобто сформоване русло, знайдене за одним із двох алгоритмів.

Оскільки цифрова модель рельєфу не є ідеальною, то алгоритми виявлення низин

не дадуть неперервного русла. Але для побудови порядкової структури потрібно саме неперервне русло. Щоб відновити русло, можемо скористатися потоком, отриманим за допомогою Flow Accumulation (який є неперервним).

Загалом алгоритм повністю можна реалізувати таким чином за допомогою QGIS:

1. Використовуючи растровий калькулятор, можемо створити новий рівень, який враховуватиме змодельований потік із коефіцієнтом 2, та два методи розпізнавання рельєфу з коефіцієнтом 1.

2. На другому кроці потрібно усунути розриви між фрагментами руслової мережі. У вихідних даних річки часто представлені окремими нероз'єднаними шматками, тому виникає потреба автоматично «дотягнути» їх одне до одного. Для цього використовується поєднання двох підходів:

а) пошук зв'язаних компонент, який дає змогу визначити всі окремі фрагменти річок;

б) обхід у ширину (BFS) уздовж матриці акумуляції стоку, що знаходить найкоротші можливі шляхи між цими фрагментами.

Результат алгоритму можемо бачити на рис. 2. Синім кольором позначена результуюча мережа, а білим – мережа, отримана акумуляцією потоку. Як бачимо, що результуюча мережа є дещо меншою за мережу, отриману за допомогою акумуляції, це пояснюється використанням додаткових чинників (Geomorphons, black top-hat).

Також із результатів видно, що отримана змодельована мережа дещо відрізняється від мережі на базовій мапі (OpenStreetMap contributors, 2025), що вказує на подальшу потребу в уточненні картографічних даних.



Рис. 2. Результуюча мережа, накладена на базову мапу OSM

Висновки

Запропонований метод має такі переваги:

1. Може бути адаптований до даних вищої точності, зокрема LiDAR, шляхом незначної корекції параметрів.

2. У разі отримання високоякісних оптичних знімків до моделі можна додати додатковий індикатор для підвищення точності.

3. Метод поєднує морфологічну та гідрологічну інформацію, що забезпечує більш комплексне відтворення руслової мережі.

Водночас через те, що доступні дані дистанційного зондування мають обмежену точність, можливі певні похибки у виявленні дрібних приток: в одних випадках модель може пропустити окрему гілку, а в інших – додати зайву. Тому точність визначення порядкової структури річкової мережі оцінюється як ± 1 .

Як бачимо, міжнародні методології моделювання використовують цифрові моделі рельєфу, що отримані з високоточних знімків або за допомогою LiDAR зондування. В українських реаліях другий варіант є малодоступним і дорогим, тому варто починати створення моделі рельєфу саме з даних ДЗЗ. Після закінчення війни та від-

новлення дозволу на польоти цивільних безпілотників можливий гібридний варіант, за якого більша частина DEM створюється за допомогою високоточних знімків, а LiDAR застосовується у важкодоступній місцевості. Також варто наголосити на необхідності верифікації даних на місцевості, тому проведення експедиційних досліджень все ще є актуальним.

Міжнародний досвід засвідчує важливість зберігання та доступності картографічних і гідрологічних даних. Більшість баз даних побудовані у вигляді файлового сховища, що містить файли різних популярних гідрологічних форматів, які є доступними через вебсервіси або через програмний інтерфейс (API). На нашу думку, для України найбільш прийнятним є рішення на основі хмарного сховища (Azure, AWS, GCP), яке підтримуватиме базовий набір функцій, як-от аутентифікація користувачів, можливість завантаження нових даних через вебінтерфейс, а також підтримка API для отримання доступу до даних і подальшого їх використання. Це є важливим для усунення варіацій у даних, які є базою для гідрологічних досліджень.

Список використаної літератури

Андрейчук Ю.М. Геоінформаційне моделювання стану басейнових систем (на прикладі притоки Дністра річки Коропець) : автореф. дис. ... канд. геогр. Наук : 11.00.11. Львів, 2012. 20 с.

Гродзинський М.Д. Пізнання ландшафту: місце і простір : монографія: у 2 т. Київ : ВПЦ «Київський університет», 2005. 504 с.

Заячук М.Д., Ющенко Ю.С., Пасічник М.Д., Паланичко О.В., Настюк М.Г. Методичні підходи оцінювання стану й управління молодими річковими ландшафтами в умовах антропогенного врізання річок (на прикладі Гірського краю Українських Карпат). *Український географічний журнал*. 2025. № 1 (129). С. 18–29. <https://doi.org/10.15407/ugz2025.01.027>.

Карта Генштабу. Квадрат М-35-135, 1977 р. [Електронний ресурс]. URL: <https://freemap.com.ua/karty-ukrainy/karty-genshtaba/karta-genshtaba-kvadrat-m-35-135/> (дата звернення: 13.11.2025).

Ковальчук І.П. Регіональний еколого-геоморфологічний аналіз. Львів : Інститут українознавства, 1997. 440 с.

Пилипович О.В. Геоекологія річково-басейнової системи верхнього Дністра : монографія / за ред. проф. І.П. Ковальчука. Львів – Київ : ЛНУ ім. Івана Франка, 2017. 284 с.

Ющенко Ю.С., Гончар О.М., Григорійчук В.В. та ін. Гідроекологічне обґрунтування безпечного та збалансованого розвитку річкових природно-антропогенних систем Передкарпаття : монографія / за ред. Ю. С. Ющенка. Чернівці : Чернівецький нац. ун-т ім. Ю. Федьковича, 2017. 472 с.

Ющенко Ю.С., Кирилук А.О., Костенюк Л.В., Опеченик В.М., Паланичко О.В., Пасічник М.Д. Територіальна структура умов та проявів руслоформування річок. *Фізична географія та геоморфологія*. 2012. № 2 (66). С. 72–79.

ASF DAAC. ALOS PALSAR High Resolution Radiometric Terrain Corrected Product : dataset. NASA Alaska Satellite Facility Distributed Active Archive Center, 2014. <https://doi.org/10.5067/Z97HFCNKR6VA>.

Centre for Environmental Data Analysis. JASMINE. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.ceda.ac.uk/services/jasmin/> (дата звернення 13.11.2025).

European Environment Agency. Validation Report – Water and Wetness 2015 and 2018, EU-Hydro and Water Bodies. Version 1.4. Copernicus Land Monitoring Service, 2019. [Електронний ресурс].

URL: <https://land.copernicus.eu/en/technical-library/comparative-validation-of-surface-water-products> (дата звернення 13.11.2025).

European Environment Agency. EU-Hydro – River Network Database 2006–2012 (vector), Europe, Version 1.3. Copernicus Land Monitoring Service, 2020. <https://doi.org/10.2909/393359a7-7ebd-4a52-80ac-1a18d5f3db9c>.

Forman R.T.T. Land Mosaics: The ecology of landscapes and regions. Cambridge : Cambridge University Press, 1995. 632 p.

Gallaun H., Dohr K., Puhm M., Stumpf A., Hugé J. EU-Hydro – River Net User Guide (Version 1.3). Copernicus Land Monitoring Service, European Environment Agency, 2020. [Електронний ресурс]. URL: https://land.copernicus.eu/en/technical-library/eu-hydro_user_guide/%40%40download/file (дата звернення 13.11.2025).

Google Maps. Stebnyk river : map. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.google.com/maps> (дата звернення 13.11.2025).

Jasiewicz J., Stepinski T.F. Geomorphons – a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms. *Geomorphology*. 2013. Vol. 182. P. 147–156. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.11.005>.

Lehner B. et al. Introducing EU-Hydro 2.0: A Copernicus high-resolution hydrographic product across Europe based on latest generation elevation and ancillary data. EGU General Assembly 2025 : Conference abstract. 2025. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu25-21410>.

Lidar Point Cloud – USGS National Map 3DEP Downloadable Data Collection, 2024. [Електронний ресурс]. URL: <https://data.usgs.gov/datacatalog/data/USGS:b7e353d2-325f-4fc6-8d95-01254705638a> (дата звернення 13.11.2025).

Moore R.V., Morris D.G., Flavin R.W. Sub-set of UK digital 1:50,000 scale river centreline network. Wallingford : NERC, Institute of Hydrology, 1994.

NERC Data Catalogue Service. UKCEH digital river network of Great Britain. [Електронний ресурс]. URL: <https://data-search.nerc.ac.uk/geonetwork/srv/api/records/7d5e42b6-7729-46c8-99e9-f9e4efddde1d> (дата звернення 13.11.2025).

OpenStreetMap contributors. Stebnyk river map. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.openstreetmap.org> (дата звернення 13.11.2025).

Pasichnyk M., Yushchenko Y., Palanychko O., Melnyk A., Darchuk K. Remote Sensing and GIS in the Research of Young River Landscape. *Grassroots Journal of Natural Resources*. 2025. Vol. 8. № 1. P. 163–189. <https://doi.org/10.33002/nr2581.6853.080106>.

Pingel T.A. Progressive Black Top Hat Transformation Algorithm for Estimating Valley Volumes from DEM Data. *Computers & Geosciences*. 2015. Vol. 75. P. 17–23. <https://doi.org/10.1016/J.CAGEO.2014.11.003>.

Tarboton D.G. A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. *Water Resources Research*. 1997. Vol. 33. No. 2. P. 309–319.

U.S. Geological Survey. Elevation-Derived Hydrography Data Acquisition Specifications 2024 Revision A2. Reston, VA : U.S. Department of the Interior, 2024. 166 p. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.usgs.gov/media/files/elevation-derived-hydrography-data-acquisition-specifications-2024-rev-a2> (дата звернення 13.11.2025).

UKCEH digital river network of Great Britain (1:50,000). [Електронний ресурс]. URL: <https://www.data.gov.uk/dataset/5ecb0e8c-a4b9-4afb-bb4b-ebc34474f9df/ukceh-digital-river-network-of-great-britain-1-50000> (дата звернення 13.11.2025).

USGS FAQ: Types of elevation datasets. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.usgs.gov/faqs/what-types-elevation-datasets-are-available-what-formats-do-they-come-and-where-can-i-download> (дата звернення 13.11.2025).

WSKE Portal. Watercourse Network (СЕН). [Електронний ресурс]. URL: <https://www.wsker.net/waterdata/surface-water/watercourse-network> (дата звернення 13.11.2025).

Yushchenko Yu.S., Pasichnyk M.D., Darchuk K.V., Kostashchuk I.I., Zakrevskiy O.V. Contemporary Geoinformation Technologies in Postmodern Education of Geographers, Hydrometeorologists, Land Surveyors. *Postmodern Openings*. 2022. Vol. 13. No 2. P. 409–429. <https://doi.org/10.18662/po/13.2/462>.

References

Andreichuk, Y.M. (2012). Neoinformatsiine modeliuвання stanu basinovykh system (na prykladi prytoky Dnistra richky Koropets) [Geoinformation modeling of basin system status (case

study: tributary of the Dnister river, Koropets river)]. *Abstract of the PhD dissertation Ivan Franko National University* [in Ukrainian].

Grodzinski, M.D. (2005). Piznannia landshaftu: mistse i prostir [Landscape cognition: place and space]. Kyiv University Press [in Ukrainian].

Zayachuk, M.D., Yushchenko, Y.S., Pasichnyk, M.D., Palanychko, O.V., & Nastyuk, M.H. (2025). Metodichni pidkhody otsiniuvannia stanu y upravlinnia molodymy richkovyvy landshaftamy v umovakh antropohennoho vrizannia richok (na prykladi Hirskoho kraiu Ukrainykykh Karpat) [Methodical approaches to assessing the status and management of young river landscapes in the context of anthropogenic river encroachment (case study: mountain region of the Ukrainian Carpathians)]. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal [Ukrainian Geographical Journal]*, 129 (1), 18–29. <https://doi.org/10.15407/ugz2025.01.027> [in Ukrainian].

General Staff of the USSR (1977). Topographic map of Ukraine: Sheet M-35-135 [Map]. Scale 1:50,000. [Electronic resource] URL: <https://freemap.com.ua/karty-ukrainy/karty-genshtaba/karta-genshtaba-kvadrat-m-35-135/> (access date 13.11.2025) [in Ukrainian].

Kovalchuk, I.P. (1997). Rehionalnyi ekoloheomorfologichnyi analiz [Regional ecological-geomorphological analysis]. Lviv [in Ukrainian].

Pylypovych, O.V. (2017). Heoekolohiia richkovo-baseinovi systemy verkhnoho Dnistra [Geoecology of the upper Dniester river basin system]. Lviv [in Ukrainian].

Yushchenko, Y.S., Honchar, O.M., Hryhoriychuk, V.V., Palanychko, O.V., & Pasichnyk, M.D., et al. (2017). Hidroekolohichne obgruntuvannia bezpechnoho ta zbalansovanoho rozvytku richkovykh pryrodno-antropohennykh system Peredkarpattia [Hydroecological justification for the safe and balanced development of river natural-anthropogenic systems in the Precarpathian region]. Chernivtsi [in Ukrainian].

Yushchenko, Y.S., Kyrlyuk, A.O., Kostenyuk, L.V., Opechenik, V.M., Palanychko, O.V., & Pasichnyk, M.D. (2012). Terytorialna struktura umov ta proiaviv rusloformuvannia richok [Territorial structure of conditions and manifestations of river channel formation]. *Fizychna heohrafiia ta heomorfolohiia [Physical Geography and Geomorphology]*, 66 (2), 72–79 [in Ukrainian].

ASFDAAC (2014). ALOS PALSAR high-resolution radiometric terrain corrected product [Dataset]. NASA Alaska Satellite Facility Distributed Active Archive Center. <https://doi.org/10.5067/Z97HFCNKR6VA>.

Centre for Environmental Data Analysis (2025). JASMIN. [Electronic resource] URL: <https://www.ceda.ac.uk/services/jasmin/> (access date 13.11.2025).

European Environment Agency (2019). Validation report: Water and wetness 2015 and 2018, EU-Hydro and water bodies (Version 1.4). Copernicus Land Monitoring Service. [Electronic resource] URL: <https://land.copernicus.eu/en/technical-library/comparative-validation-of-surface-water-products> (access date 13.11.2025).

European Environment Agency (2020). EU-Hydro – River network database 2006–2012 (vector), Europe (Version 1.3) [Dataset]. Copernicus Land Monitoring Service. <https://doi.org/10.2909/393359a7-7ebd-4a52-80ac-1a18d5f3db9c>.

Forman, R.T.T. (1995). Land mosaics: The ecology of landscapes and regions. Cambridge University Press.

Gallaun, H., Dohr, K., Puhm, M., Stumpf, A., & Hugé, J. (2020). EU-Hydro – River net user guide (Version 1.3). European Environment Agency, Copernicus Land Monitoring Service. [Electronic resource] URL: https://land.copernicus.eu/en/technical-library/eu-hydro_user_guide/@@download/file (access date 13.11.2025).

Google Maps. Stebnyk river: map. [Electronic resource] URL: <https://www.google.com/maps> (access date 13.11.2025).

Jasiewicz, J., & Stepinski, T.F. (2013). Geomorphons – A pattern recognition approach to classification and mapping of landforms. *Geomorphology*, 182, 147–156. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.11.005>.

Lehner, B., Moser, L., Roth, A., Mortel, G.M., Lindmayer, A., Warmedinger, L., Grill, G., Wegscheider, S., Keller, C., Ram, S., Wetzel, A., Kampouraki, M., Huber, M., Rubio Iglesias, J.M., & Przystawaska, J. (2025). Introducing EU-Hydro 2.0: A Copernicus high-resolution hydrographic product across Europe based on latest generation elevation and ancillary data (EGU25-21410). *EGU General Assembly 2025*. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu25-21410>.

U.S. Geological Survey (2024). Lidar point cloud: USGS National Map 3DEP downloadable data collection [Dataset]. [Electronic resource] URL: <https://data.usgs.gov/datacatalog/data/USGS:b7e353d2-325f-4fc6-8d95-01254705638a> (access date 13.11.2025).

Moore, R.V., Morris, D.G., & Flavin, R.W. (1994). Subset of UK digital 1:50,000 scale river centreline network [Dataset]. NERC Institute of Hydrology.

UK Centre for Ecology & Hydrology (2025). UKCEH digital river network of Great Britain [Dataset]. [Electronic resource] URL: <https://data-search.nerc.ac.uk/geonetwork/srv/api/records/7d5e42b6-7729-46c8-99e9-f9e4efddde1d> (access date 13.11.2025).

OpenStreetMap contributors. Stebnyk river map. [Electronic resource] URL: <https://www.openstreetmap.org> (access date 13.11.2025).

Pasichnyk, M., Yushchenko, Y.S., Palanychko, O., Melnyk, A., & Darchuk, K. (2025). Remote sensing and GIS in the research of young river landscape. *Grassroots Journal of Natural Resources*, 8 (1), 163–189. <https://doi.org/10.33002/nr2581.6853.080106>.

Pingel, T. (2013). A Progressive Black Top Hat Transformation Algorithm for Estimating Valley Volumes from DEM Data. *AGU Fall Meeting Abstracts*. <https://doi.org/10.1016/J.CAGEO.2014.11.003>.

Tarboton, D.G. (1997). A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. *Water Resources Research*, 33 (2), 309–319.

U.S. Geological Survey (2024). Elevation-derived hydrography data acquisition specifications (Revision A2). U.S. Department of the Interior. [Electronic resource] URL: <https://www.usgs.gov/media/files/elevation-derived-hydrography-data-acquisition-specifications-2024-rev-a2> (access date 13.11.2025).

UKCEH digital river network of Great Britain (1:50,000). [Electronic resource] URL: <https://www.data.gov.uk/dataset/5ecb0e8c-a4b9-4afb-bb4b-ebc34474f9df/ukceh-digital-river-network-of-great-britain-1-50000> (access date 13.11.2025).

USGS FAQ: Types of elevation datasets. [Electronic resource] URL: <https://www.usgs.gov/faqs/what-types-elevation-datasets-are-available-what-formats-do-they-come-and-where-can-i-download> (access date 13.11.2025).

WSKE Portal. Watercourse Network (CEH). [Electronic resource] URL: <https://www.wskep.net/waterdata/surface-water/watercourse-network> (access date 13.11.2025).

Yushchenko, Y.S., Pasichnyk, M.D., Darchuk, K.V., Kostashchuk, I.I., & Zakrevskyi, O.V. (2022). Contemporary geoinformation technologies in postmodern education of geographers, hydrometeorologists, and land surveyors. *Postmodern Openings*, 13 (2), 409–429. <https://doi.org/10.18662/po/13.2/462>.

Дата першого надходження статті до видання: 16.12.2025

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 29.01.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 31.03.2026

Стаття поширюється на умовах
ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

