

## ДЖЕРЕЛА ДАНИХ ДЛЯ ЦИФРОВОГО ГЕОЛОГІЧНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ

Юрій Віхоть<sup>1,3</sup>, Ігор Бубняк<sup>2</sup>, Соломія Кріль<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Львівський національний університет імені Івана Франка,  
вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005

e-mail: [yuvik@ukr.net](mailto:yuvik@ukr.net); [fourman@i.ua](mailto:fourman@i.ua)

<sup>2</sup>Національний університет «Львівська політехніка»,  
вул. Карпінського, 6, Львів, Україна, 79013

e-mail: [ihor.m.bubniak@lpnu.ua](mailto:ihor.m.bubniak@lpnu.ua)

<sup>3</sup>УкрНДІгаз, АТ «Укргазвидобування»,  
вул. Стрийська, 144, Львів, Україна, 79000

e-mail: [solia\\_kr@ukr.net](mailto:solia_kr@ukr.net)

Побудову достовірної деталізованої цифрової геологічної карти, яка з геологічними профілями є першоосновою для планування детальних структурних, геофізичних, газогеохімічних, гідрогеологічних та інших досліджень, пошукових і розвідувальних робіт, неможливо якісно виконати без використання як наявних карт, даних різних видів геологічного картографування, отриманих під час недавніх польових досліджень із застосуванням сучасних геоінформаційних технологій, спеціалізованого програмного забезпечення для комплексного аналізу геоданих, додатків для смартфонів, планшетів для запису та доповнення баз даних у польових умовах, так і завантаження доступних картографічних даних з онлайн-ресурсів.

Основним завданням та новизною статті є демонстрація особливостей побудови сучасної геологічної карти завдяки комплексному застосуванню традиційного та цифрового геологічного картографування (ЦГК) з використанням збору даних додатками для смартфонів, планшетів, онлайн-ресурсів із можливістю завантаження доступних картографічних даних та інших засобів, що пришвидшують процес створення сучасної динамічної й інтерактивної карти, показати особливості проведення цифрового та традиційного картографування для території зі складною доступністю до об'єктів дослідження, а також відсутністю доступу до базових онлайн-карт під час польових досліджень.

У статті продемонстровано способи створення комплексної динамічної цифрової карти для вирішення актуальних завдань у геології та науках про Землю (на прикладі досліджуваних ділянок Передкарпаття, Українських Карпат, Закарпаття), як основи для нанесення даних геологічного картографування, даних різноманітних видів польових досліджень (структурних, газогеохімічних, гідрогеологічних тощо) та готових даних, що можна завантажити з онлайн-ресурсів.

Цифрова комплексна геологічна карта, разом із топографічною основою, а також геоданими про структуру, літологію, стратиграфію, геохімічний склад та інші дані особливо для регіонів зі складною геологічною будовою та доступністю до об'єктів дослідження (Українські Карпати, Закарпаття), є основою для аналізу й інтерпретації глибинної будови, побудови достовірних і уточнення наявних глибинних геологічних профілів, 3D-моделі глибинної будови.

*Ключові слова:* цифрове геологічне картографування (ЦГК), цифрова геологічна карта, польові дослідження, геоінформаційні системи (ГІС) та геоінформаційні технології (ГІТ), додатки для цифрового геологічного картографування, джерела геоданих для картографування, Карпати, Передкарпатський передовий прогин, Закарпаття.

**Постановка проблеми.** Створення сучасної цифрової комплексної геологічної карти, особливо для територій зі складною геологічною будовою, є довготривалим і нелегким процесом, який завдяки появі все нових достовірних даних із різноманітних геологічних і геофізичних досліджень глибинної будови осадових басейнів, а саме буріння свердловин, 3D-сейсміки, постійно доповнюється. Удосконалення із часом методів дослідження, поява нових інструментів для геологічного картографування та зміна глобальних підходів до формування осадових басейнів сприяли побудові низки геологічних та інших карт і розрізів. Багато з таких карт найчастіше існують у паперовому вигляді, часто вони не піддаються однозначному зіставленню із сучасними геологічними картами, що вже мають просторову прив'язку, через відсутність координат чи сітки координат, нанесення місць дослідження без чіткої просторової прив'язки (відсутності даних GPS), побудову на папері та за допомогою графічних растрових і векторних редакторів, що не використовують системи координат.

Зіставлення новіших карт, на яких ще відсутні координати чи координатна сітка, а також накладання на такі карти даних, отриманих із сучасних геологічних, геофізичних, газогеохімічних та інших досліджень, що мають просторову прив'язку, також є спірним процесом, що часто спричиняє також незначне спотворення карт і, як наслідок, може бути причиною невідповідності, неточності та неякісної інтерпретації результатів сучасних польових досліджень із просторовими даними, побудованих розрізів; неточного оконтурення перспективних площ, визначення розташування та глибини залягання покладів, місця для буріння свердловин тощо.

Розвиток інформаційних технологій покращив процес геологічного картографування завдяки використанню інтелектуального та портативного обладнання для збору польових даних, створення геологічної бази даних і сучасних геологічних карт, на які можна накладати, оновлювати необхідні уточнені дані чи дані сучасних польових досліджень. Проте геодані та топографічні дані для Карпат, Передкарпаття, Закарпаття перебувають у різному стані та на різному етапі оцифрування.

Під час підготовки власної комбінованої карти з базовою основою під конкретні польові дослідження потрібно враховувати, що низка спеціалізованих карт і схем часто потребує досить затратного процесу оцифрування растрових спеціалізованих карт у відповідних форматах для якісного відображення потрібних геоданих у ГІС-програмах і подальшого їх комплексного аналізу. Саме тому використання доступних онлайн-ресурсів і серверів із джерелами даних, з яких можна отримати просторові геодані, тільки сприятиме високій якості відтворення результатів польових досліджень та побудові власної комплексної карти, адаптованої до потреб і необхідних завдань.

**Аналіз попередніх досліджень.** Основи цифрового геологічного картографування, яке забезпечує створення сучасних геологічних карт, були закладені ще у 80-х рр. минулого століття. До того часу геологічні дослідження традиційно фіксували на папері, у блокноті чи на паперових картах [6]. А вже в 90-х рр. одними з перших польових програмних систем цифрового геологічного картографування були системи *ArcPad – ArcGIS* [13]. Зі швидким розвитком комп'ютерних технологій з'являються спеціалізовані польові ноутбуки, планшети на поширених операційних системах і спеціалізоване програмне забезпечення, які стають доступними, їх широко використовують для комп'ютеризації різноманітних процесів геологічного картографування та внесення даних польових досліджень [16].

У XXI ст. комп'ютерне геологічне картографування стає практичним і доступним разом зі швидким розвитком комп'ютерних технологій. З'являються можливості запису даних польових спостережень у цифровому вигляді за допомогою цифрової системи збору польових даних додатками смартфонів, айфонів, планшетів. Використання глобальної

системи позиціонування (далі – GPS) удосконалило спосіб збору даних і прискорило процес картографування на відкритих територіях. Технологія GPS, зокрема, дає змогу отримувати дані для великих територій і часто навіть у режимі реального часу, що теж в рази підвищує швидкість збору та передачу геоданих завдяки синхронізації даних. Записані в цифровому вигляді дані польових спостережень ефективно використовують для геологічної інтерпретації, аналізу геоданих, зіставлення та побудови карт у середовищі геоінформаційних систем (далі – ГІС).

Цифрові карти, на відміну від традиційних паперових карт, динамічні й інтерактивні, ці дві особливості визначають їхню популярність і практичність. Оскільки вони допомагають виділяти раніше непомічені ознаки завдяки зіставленню різноманітних видів карт, показують зміни із часом і еволюцією поглядів на історію розвитку, а також є основою для візуального представлення даних інших польових досліджень.

Інтерпретація геоданих у спеціалізованих програмних забезпеченнях, однозначно, буде виконана точніше й ефективніше завдяки використанню наборів просторових даних із різних джерел даних і онлайн-ресурсів, а результат може бути ефективно використаний для складання базової карти-основи та побудови сучасної комплексної карти для вирішення важливих завдань у геології й інших споріднених науках про Землю, особливо для Карпат, Передкарпаття, Закарпаття.

**Мета статті** – продемонструвати особливості й ефективність застосування різних засобів отримання й аналізу картографічних даних, даних цифрового геологічного картографування та їх комплексного застосування з даними, отриманими з онлайн-ресурсів, на прикладі досліджуваних ділянок Українських Карпат, Передкарпаття та Закарпаття, охарактеризувати сучасні інструменти для аналізу та застосування доступних інструментів і даних онлайн-ресурсів для сучасного цифрового геологічного картографування, інших польових досліджень, показати переваги для створення комплексної динамічної цифрової карти, яку можна використовувати для різноманітних цілей. У статті також наведений огляд різних способів цифрового геологічного картографування.

**Виклад основного матеріалу.** Геологія, геофізика, споріднені та взаємопов'язані з ними науки про Землю у своїх дослідженнях використовують геодані, що мають просторову прив'язку. Еволюція геологічного картографування та потреби геологічної галузі підвищують необхідність у цифровій трансформації геологічних просторових даних, а особливо це стосується польових спостережень для територій зі складною геологічною будовою та перспективою на пошуки корисних копалин, зокрема вуглеводнів. Цифрова трансформація робочого процесу в усіх геологічних галузях на різних етапах сприяє інтеграції геопросторових технологій і розвитку цифрового геологічного картографування.

Геологічне картографування на територіях зі складною геологічною будовою, насамперед Передкарпатського та Закарпатського прогинів, Українських Карпат, є довготривалим процесом, який передбачає збір різних типів даних – від картографічних даних, аналітичних даних до спеціалізованих польових спостережень. Оскільки геологічне картографування та різноманітні польові дослідження охоплюють територію з унікальною літологією та складністю, то особливий стиль картографування та внесення даних буде впливати на вибір як програмного забезпечення цифрового геологічного картографування, так і додатків для смартфонів, айфонів, планшетів.

Цифрове геологічне картографування є процесом, за допомогою якого геологічні особливості спостерігаються, записуються в польових умовах і відображаються в режимі реального часу завдяки синхронізації даних на персональному комп'ютері, ноутбучі, планшеті, навіть на смартфонах чи айфонах. Основною функцією цієї технології є створення цифрових геологічних карт, які можна використовувати й оновлювати під час подальших польових досліджень.

Сучасна комплексна детальна цифрова геологічна карта складається з низки базових і спеціалізованих шарів, як-от: шари з топографічними даними, які можна завантажити з онлайн-ресурсів, що містять картографічні дані; цифрові дані, отримані з існуючих ГІС-програм чи спеціалізованих ресурсів для подальшого комплексного опрацювання та нанесення на узагальнені карти; шари з результатами польових досліджень, що виконані за допомогою цифрових засобів для збору та первинного аналізу геоданих у полі.

Запорукою успішних польових досліджень є, без сумніву, наявність цифрових базових топографічних і спеціалізованих карт. Низка країн для таких потреб спеціально розробляють якісні топографічні карти. З кожним роком все більше таких карт є доступними в цифровому форматі, їх можна завантажити з доступних онлайн-ресурсів. Наприклад, цифрові топографічні карти США можна завантажити з вебсайту Геологічної служби США [18]. Проте для більшості країн і регіонів такі карти можуть бути недоступними або навіть платними з деяких онлайн-ресурсів [10]. На ресурсі Національної бази даних геологічних карт – National Geologic Map Database [9] можна знайти посилання або завантажити геологічні карти, наприклад для багатьох регіонів США.

Окрім того, важливим є те, які формати даних можна завантажити з таких доступних ресурсів. Наприклад, для США деякі геологічні карти можна завантажити в різноманітних форматах, що мають просторову прив'язку і відкриваються сучасними програмним забезпеченням ГІС, що пришвидшують процес аналізу й інтерпретації: від універсального формату (Print Optimized PDF, .pdf), що відкривається у вигляді лінійних і полігональних об'єктів у ГІС-програмах, до растрових форматів, що містять просторову прив'язку (Compressed TIFF, .tiff; Google Earth KMZ, .kmz), а також навіть у спеціалізованих ГІС-форматах – Shapefile, .shp, GeoPackage, .gpkg.

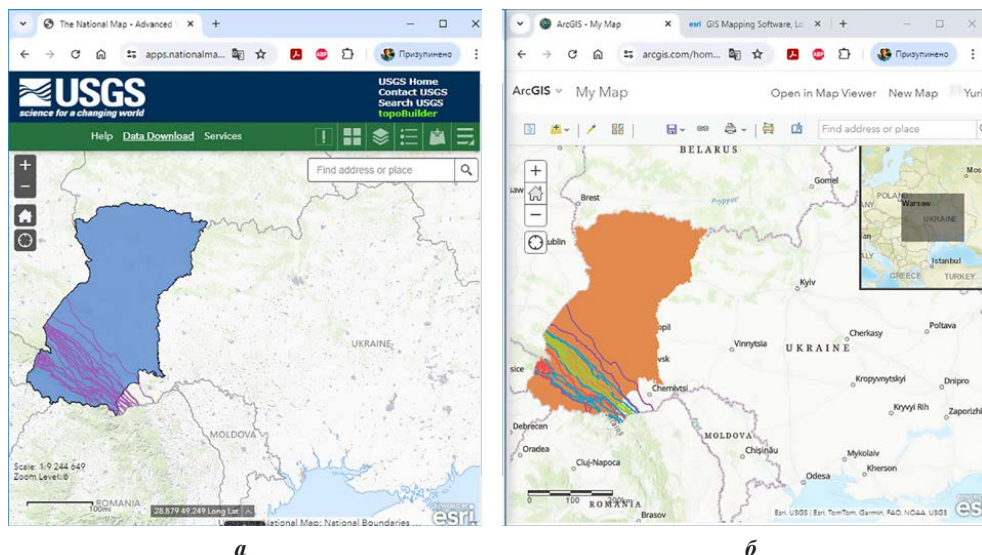
Для досліджуваних ділянок Карпат, Передкарпатського та Закарпатського прогинів або загалом усієї України єдиного спеціалізованого українського ресурсу для завантаження сучасних топографічних базових карт немає. Щодо геологічних карт, розрізів, інших карт і звітів для території України, то до початку вторгнення Росії в Україну в лютому 2022 р. такі дані були доступні на сайті ДНВП «Геоінформ України» [3]. Зараз ці дані в цілях безпеки закриті для доступу широкої аудиторії. Проте варто зауважити, що карти із цього ресурсу є растровими зображеннями без можливості автоматичного додавання їх у програмах геоінформаційних систем (ArcGIS Desktop, QGIS), хоча деякі з них містять просторову інформацію у вигляді координат, сітки координат.

Для ефективної візуалізації просторових даних потрібні готові базові або спеціалізовані карти онлайн, які б давали швидку візуалізацію розташування об'єктів дослідження, з нанесенням попередніх результатів дослідження або планування нових на досліджуваних ділянках Карпат, Передкарпатського та Закарпатського прогинів. Це може скоротити час для підготовки карт і забезпечити якість інтерпретації результатів, які мають значну прикладну цінність завдяки автоматичному відтворенню цифрової карти.

Останніми роками стають популярними різноманітні онлайн-ресурси, що забезпечують картографів інструментами для швидкого створення карт із додаванням даних у різних спеціалізованих форматах (shp, .gpkg) до існуючих базових карт у ГІС-програмах або до онлайн-ресурсів ГІС-переглядачів, які максимально відповідають уподобанням, потребам і поставленим завданням, а також містять уже готові макети для друкування різних видів карт із додаванням до них координатних сіток і потрібних геоданих.

Завдяки доступному онлайн ГІС-переглядачу національних карт – The National Map Viewer (TNM Viewer) [17] можна додавати власні дані у форматах існуючих ГІС-проектів (Shapefile, CSV, KML, GPX, GeoJSON) для онлайн-перегляду (рис. 1), а також із цього ресурсу можна завантажувати доступні дані, але які, на жаль, для території України

є недоступними. Інший ресурс – ArcGIS Online [4] – також має низку можливостей для візуалізації всіх найновіших даних національних карт, додавання даних у форматі Shapefile, .shp, спрощує взаємодію з усіма даними для створення власної індивідуальної онлайн-карти з можливістю класифікації за даними атрибутивних таблиць (рис. 1).



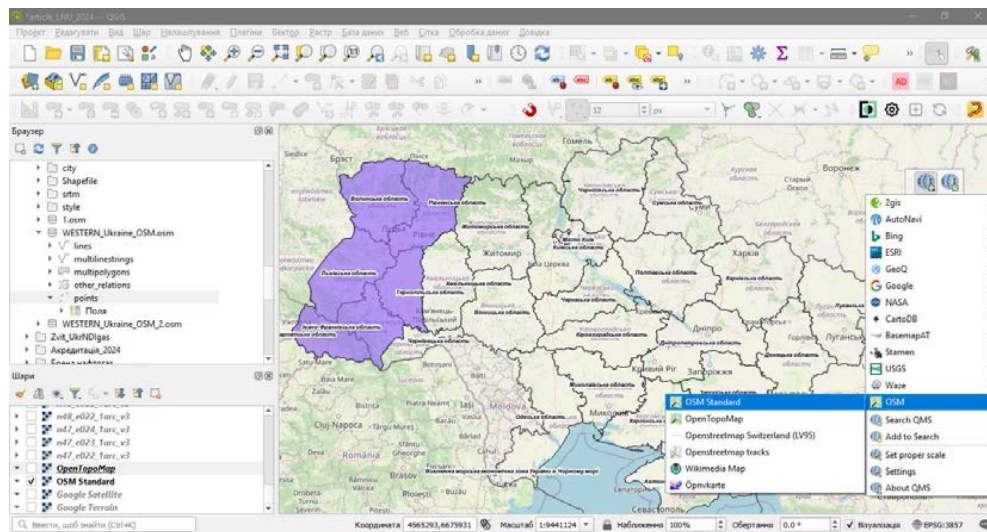
**Рис. 1. Приклад додавання власних геоданих у форматі Shapefile (.shp), заархівованих у zip-файл, до онлайн-переглядачів:**  
**а** – The National Map Viewer (TNM Viewer) [17]; **б** – ArcGIS Online [4]

За допомогою модуля QuickMapServices [15], безкоштовного програмного забезпечення *QGIS* є можливість додавати до проекту набори даних базових карт: карти Google усіх видів, карти OSM Standart, OpenTopoMap (рис. 2), карти ESRI з ресурсу *ArcGIS Online* та інші доступні онлайн-карти, які є відкритими та створені провідними виробниками цифрових картографічних продуктів.

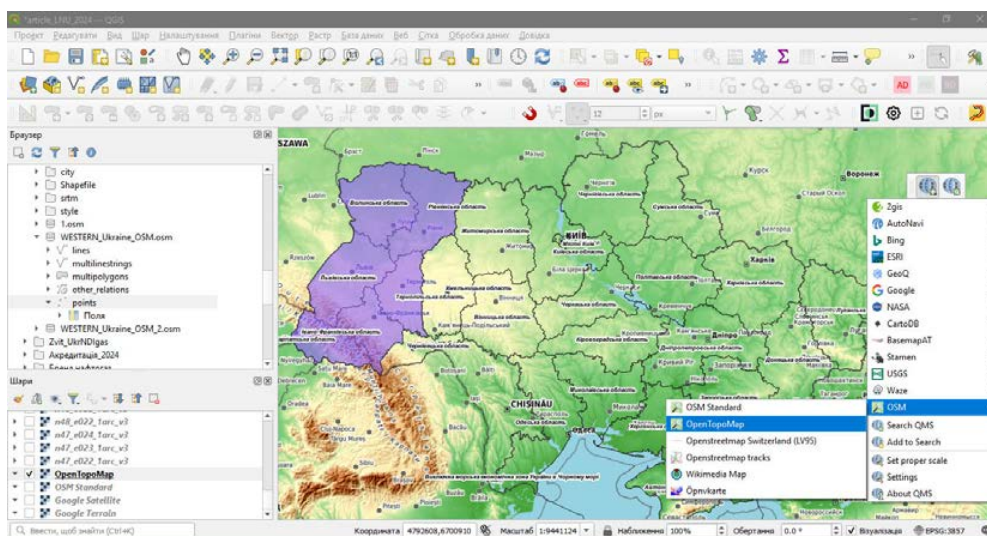
Інше сучасне комерційне програмне забезпечення *ArcGIS Pro* – потужна настільна ГІС-програма [5], яка також містить ресурси готових базових онлайн-карт. *ArcGIS Pro* підтримує швидкий обмін даними в наборі власних настільних і портативних пристроїв, дозволяє працювати в системі *ArcGIS* через Web GIS, *ArcGIS Online* завдяки доступу до відкритих власних картографічних онлайн-джерел.

Онлайн-карти в ГІС-програмах відкриваються та налаштовуються досить просто, часто автоматизовано. Складнішими для налаштування є ресурси, з яких дані потрібно завантажувати в мережі «Інтернет».

Завдяки ресурсу *EarthExplorer* (далі – EE) [19], що розроблений Геологічною службою США (USGS), можна отримати доступ до великої бази даних для багатьох країн, зокрема і для території України, для вирішення завдань у геології та науках про Землю. Інструменти ресурсу забезпечують онлайн-пошук, перегляд, експорт метаданих і завантаження даних із супутників, літаків та інших доступних даних дистанційного зондування (рис. 3).



*a*



*б*

**Рис. 2. Онлайн-карти у проєкті QGIS, додані за допомогою модуля QuickMapServices [15]:  
*a* – карта OSM Standart, *б* – карта OpenTopoMap**

Для завантаження будь-яких даних з EarthExplorer необхідно виділити досліджувану ділянку і вибрати тип даних. Для території західних областей України (у межах Передкарпаття, Карпат, Закарпаття) можна завантажити, наприклад, цифрову модель рельєфу – Digital Elevation Model (DEM) у форматі GeoTIFF (рис. 4), що надалі може бути використана як основа для нанесення даних геологічного картографування, результатів польових досліджень, елементів існуючої геологічної карти.

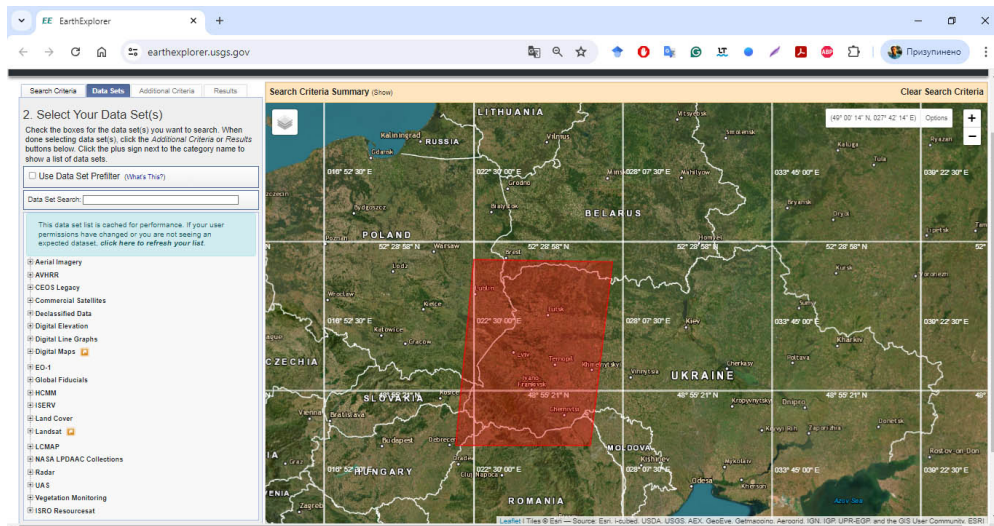


Рис. 3. Онлайн-ресурс *EarthExplorer* (EE) [19] із переліком доступних геоданих для завантаження і перегляду в найпоширеніших ГІС-програмах

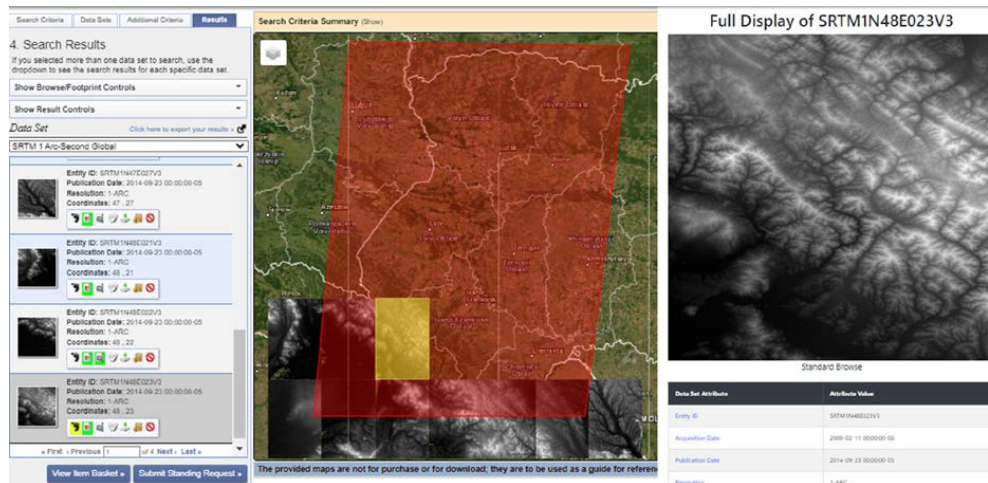


Рис. 4. Готові файли для завантаження цифрової моделі рельєфу (DEM) у форматі GeoTIFF для західних областей України (а) та попередній перегляд однієї з них (б) (дані, завантажені з *EarthExplorer* (EE) [19])

Після завантаження частин цифрової моделі рельєфу їх потрібно об'єднати за допомогою інструментів існуючих ГІС-програм, вирізати потрібну частину та розфарбувати за допомогою градієнтів кольорів. Окрім того, дані цифрової моделі рельєфу можна використати для побудови відмивки рельєфу (Hillshade), що є способом зображення рельєфу, за якого об'ємність зображення рельєфу досягається за допомогою відтінення нерівностей земної поверхні. Відмивка рельєфу застосовується переважно для гірських районів, де напівтони надають рельєфу більшої наочності.

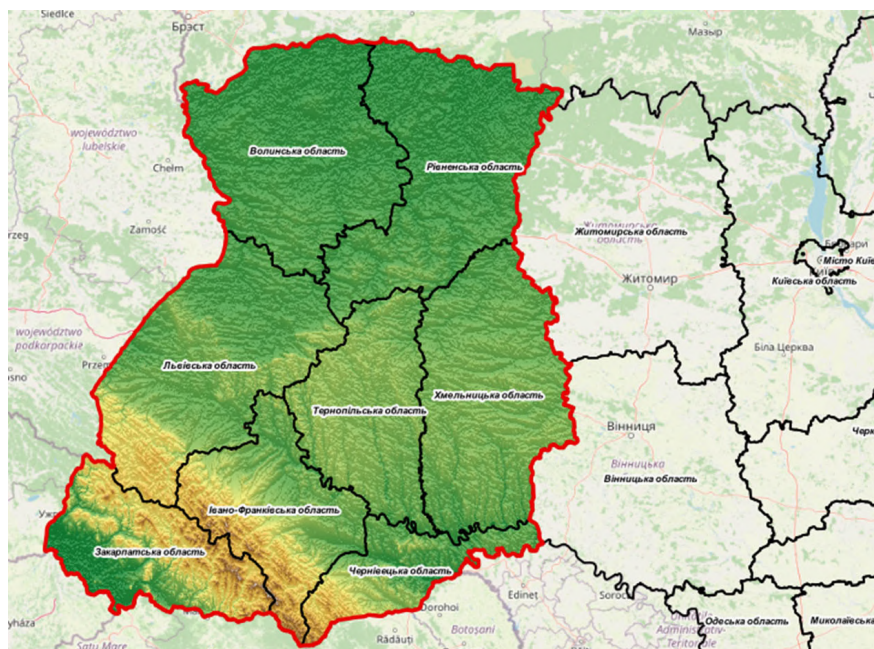


Рис. 5. Застосування цифрової моделі (DEM) та відмивки (Hillshade) рельєфу у програмі QGIS

Завдяки іншому ресурсу з даними – OpenTopography [12] теж є можливість завантаження даних із високою якістю. Окрім того, у програмному забезпеченні QGIS за допомогою модуля програми – OpenTopography DEM Downloader є можливість швидкого завантаження цифрових моделей рельєфу й інших доступних даних із ресурсу OpenTopography.

Джерело інформації та спосіб застосування таких топографічних даних із низки доступних ресурсів будуть залежати в основному від програмного забезпечення, у якому надалі опрацюватимуться результати інтерпретації таких даних у комплексі з іншими даними.

Зауважимо, що створення та візуалізація графічних геоданих в онлайн-картах різноманітних ГІС і завантажених растрових зображень мають свої переваги та недоліки, які потрібно враховувати для інтерпретації результатів досліджень на топографічних картах. Суттєвими недоліками таких онлайн-карт є їх часто погана роздільна здатність, оскільки вони є растровими онлайн-форматами, часто не відповідна кількість написів і об'єктів на картах, що визначає якість візуалізації карт та інтерпретації додаткових даних.

Саме тому для створення якісної базової карти для картографування потрібні векторний набір актуальних картографічних даних із можливістю додавання та видалення потрібних базових топографічних елементів. Найактуальнішим ресурсом для завантаження топографічних даних є OpenStreetMap [11]. Актуальні дані карти OpenStreetMap можна завантажити за допомогою ресурсу Geofabric Downloads [8]. Модуль програмного забезпечення OSMDownloader є безпосереднім інструментом для роботи з даними OpenStreetMap. Завдяки цьому модулю можна завантажувати дані OSM у форматі .osm, та конвертувати їх у шейп-файли. QGIS підтримує різні векторні формати файлів, що робить його корисним інструментом для роботи з даними OpenStreetMap.



Іншою альтернативою для завантаження даних базових карт є платний ресурс – NextGIS [10], що використовує дані з OpenStreetMap та декількох відкритих джерел, де постійно оновлюються просторові набори даних для будь-якої частини світу. Набори даних надаються у форматах ESRI Shapefile, ESRI Geodatabase, Mapinfo TAB, GeoJSON, PBF, OSM (XML), SQL (PostgreSQL), CSV та PDF із найпоширенішою системою координат – WGS84, можуть використовуватися в більшості існуючих ГІС-програм.

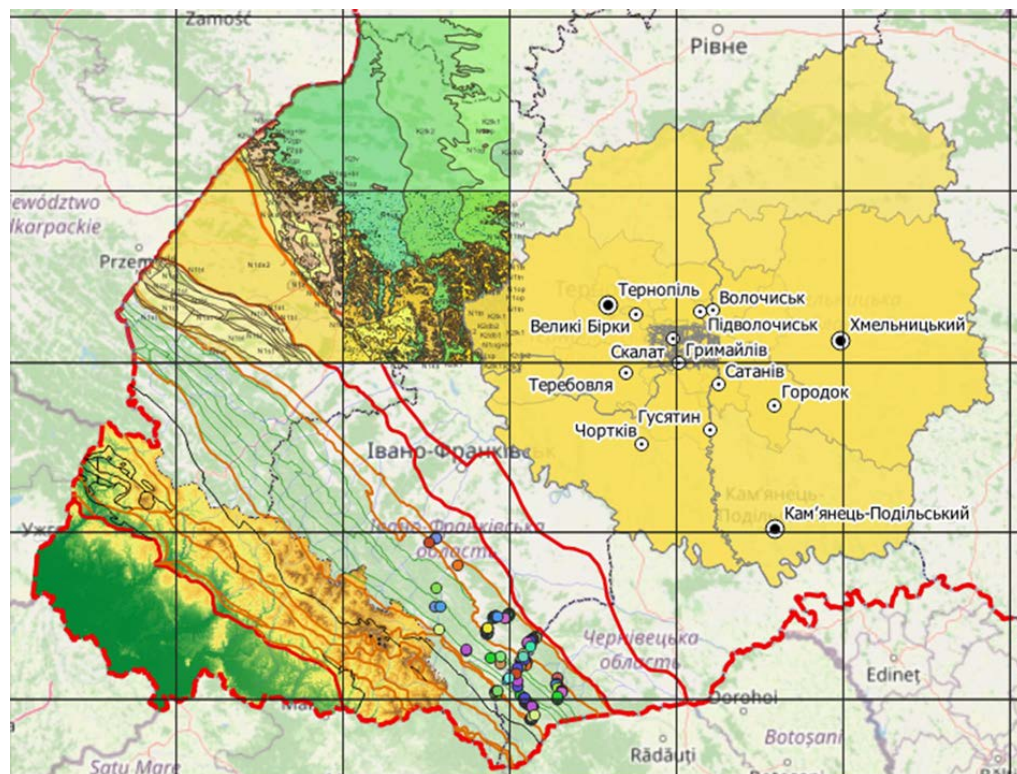
Набори даних, які надає ресурс, мають багато переваг порівняно з оригінальним форматом OSM XML, який можна безкоштовно завантажити за допомогою згаданих сайтів (Geofabric Downloads [8]) або модулів програми *QGIS*. Набори даних надаються в популярних форматах ГІС і супроводжуються файлами ГІС-проектів, до яких уже можна додавати результати польових досліджень. Усі ГІС-проекти налаштовуються та до кожного шару додаються стилі. Дані поділяються на шари, кожен із яких містить власний набір атрибутів. Набори даних можна замовити за будь-який місяць і рік, починаючи із травня 2009 р. Усі набори даних генеруються з використанням бази даних OpenStreetMap, актуальної на дату замовлення.

За допомогою комп'ютерних технологій і програмного забезпечення, які стають портативними та досить потужними, можна виконувати майже всі завдання в польових умовах на смартфонах, айфонах, планшетах: точне визначення місцезнаходження за допомогою пристрою GPS, онлайн-відображення кількох шарів карт (різних видів геологічних карт, супутникових зображень, аерофотознімання тощо), нанесення символів простягання та падіння, а також кольорове кодування різних фізичних характеристик літології або типу контакту між пластами гірських порід, розломів, газогеохімії та гідрогеологічні дані тощо. Окрім того, за допомогою смартфонів, айфонів можна виконувати завдання, які було важко виконати в польових умовах, наприклад підписування фотографій відслонення, створення панорамних знімків, якісних фотографій і макрофотографій зразків гірських порід у полі, коментування та запис відео тощо.

Додатки смартфонів, айфонів, планшетів, які набули широкого використання, дозволяють записувати дані польових спостережень у цифровому вигляді під час цифрового геологічного картографування Карпат, Передкарпатського та Закарпатського прогинів, що неодноразово продемонстровано авторами [1; 2]. Майже все існуюче програмне забезпечення ГІС у своєму комплексі має сумісні додатки для портативних пристроїв, наприклад, у програмному забезпеченні *QGIS* додатком для збору польових даних є QField [14], який підтримує навіть офлайн-карти, завдяки яким можна здійснювати цифрове картографування без доступу до інтернету, що інколи теж сприяє процесу збору даних у складнодоступних районах досліджень Карпат, Закарпаття.

Масовий збір даних ГІС за допомогою додатків цифрового геологічного картографування є унікальним, незважаючи на незначні недоліки, і може бути реалізований під час польових досліджень на території Передкарпаття, Карпат, Закарпаття для забезпечення доступу до сучасних і доступних технологій і даних, отже, і аналізу цих геоданих доступним сучасним програмним забезпеченням геоінформаційних систем і технологій.

Водночас потужні робочі станції, що застосовуються для керування, аналізу та візуалізації геопросторових даних, наборів даних із різних джерел за допомогою геоінформаційних систем, дають змогу ефективніше здійснювати інтерпретацію результатів дослідження в комплексі з доступними геоданими [1; 2; 20–22]. Проектом геологічного картографування можна керувати ефективніше за допомогою комп'ютерних технологій, що включають програмне забезпечення настільних робочих станцій, додатків портативних пристроїв для польових досліджень, а онлайн-ресурси та доступні джерела геоданих тільки сприяють цьому процесу та створенню комплексної достовірної карти для виконання конкретних завдань у геології та науках про Землю (рис. 6).



**Рис. 6.** Проект комплексної сучасної цифрової геологічної карти із цифровою моделлю рельєфу, оцифрованою геологією та тектонічною схемою у форматі .shp, базовою картою OSM Standart, завантажених даних у форматі .osm за допомогою модуля OSMDownloader, точок, нанесених за допомогою додатку QField, яку можна доповнювати, оновлювати

**Висновки та перспективи подальшого дослідження.** Геологічне картографування та різні види польових досліджень інтегрують геонауку з даними про місцерозташування, забезпечують цінну інформацію для планування геологорозвідувальних робіт і слугують базою для моделювання процесів формування геологічних об'єктів. Упровадження й інтеграція геопросторових і передових геоінформаційних технологій під час картографувального процесу та збору польових даних додатками смартфонів, айфонів, планшетів сприяють поширенню інноваційних інструментів геологічного моделювання та прогнозування в геонауках.

У геології, як і в усіх науках про Землю, вагоме значення має просторова прив'язка, яка відіграє надважливу роль під час будь-яких польових досліджень. Збереження результатів цифрового геологічного картографування у вигляді баз геоданих у комп'ютерних цифрових моделях дає можливість ефективніше здійснювати складну візуалізацію комплексних різнопрофільних даних і створювати карти залежно від поставлених завдань, ніж це можна виконати за допомогою, наприклад, традиційних паперових карт, під час аналізу яких виникають проблеми із зіставленням різних видів таких карт, додаванням базової сучасної карти, що із часом оновлюється.

Геологічне картографування разом із польовими дослідженнями, які потребують просторової прив'язки точок спостереження й інтерпретації результатів, безпосередньо

залежать від наявності якісних базових карт. Нанесення даних на такі якісні базові топографічні та достовірні карти зменшує ризики під час їх інтерпретації та запобігає появі неточностей під час пошукових, розвідувальних робіт, планування буріння чи інших затратних процесів.

Застосування геологічних даних із сучасними даними, які можна оновлювати та доповнювати з різних доступних картографічних джерел, сприяє створенню проекту цифрової геологічної карти з можливістю швидкого оновлення, заміни та додавання уточнених даних, даних різноманітних польових досліджень, як основи для визначення ділянок для проведення першочергових детальних пошукових і розвідувальних робіт, моделювання та вирішення комплексних геологічних завдань під час інтерпретації даних у таких складних регіонах дослідження, як Українські Карпати, Передкарпатський та Закарпатський прогини.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Цифрове геологічне картування та аналіз польових геоданих інструментами та плагінами QGIS / Ю.М. Віхоть та ін. *Наукові праці Донецького національного технічного університету*. Серія «Гірничо-геологічна». 2022. № № 1 (27) – 2 (28). С. 122–135.
2. Віхоть Ю.М., Криль С.Я. Особливості традиційного та цифрового геокартування під час польових досліджень та проведення практик у Карпатах. *Проблеми геології України* : збірник наукових праць. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2023. С. 59–61.
3. ДНВП «Геоінформ України». URL: <https://geoinf.kiev.ua/wp/index.html>.
4. ArcGIS Online. URL: <https://www.arcgis.com/apps/mapviewer/index.html>.
5. ArcGIS Pro. URL: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-pro/overview>.
6. Barnes J., Lisle R. *Basic Geological Mapping*. Chichester, West Sussex PO19 8SQ. England : John Wiley & Sons Ltd, 2004. P. 1–204.
7. Open source GIS for geological field mapping: research and teaching experience / M. De Donatis et al. *PeerJ Preprints*. 2016. № 4. P. e2258v2. <https://doi.org/10.7287/peerj.preprints.2258v2>.
8. Geofabric Downloads. URL: <https://download.geofabrik.de/>.
9. National Geologic Map Database : Catalog search. URL: [https://ngmdb.usgs.gov/ngm-bin/ngm\\_compsearch.pl/](https://ngmdb.usgs.gov/ngm-bin/ngm_compsearch.pl/).
10. NextGIS: Spatial data for your project. URL: <https://nextgis.com/datasets/>.
11. OpenStreetMap. URL: <https://www.openstreetmap.org/>.
12. OpenTopography: High-Resolution Topography Data and Tools. URL: <https://portal.opentopography.org/datasets>.
13. Computer-based data acquisition and visualization systems in field geology: Results from 12 years of experimentation and future potential / T.L. Pavlis et al. *Geosphere*. 2010. № 6. P. 275–294.
14. QField. URL: <https://qfield.org/>.
15. QuickMapServices: plugins for QGIS. URL: [https://plugins.qgis.org/plugins/quick\\_map\\_services/](https://plugins.qgis.org/plugins/quick_map_services/).
16. Spatial data for your project. URL: <https://nextgis.com/datasets/>.
17. Sprinkel Douglas, Brown Kent. Using digital technology in the field. *Survey Notes*. 2008. № 40 (1). P. 1–2.
18. The National Map Viewer. URL: <https://apps.nationalmap.gov/viewer/>.
19. U.S. Geological Survey. URL: <https://www.usgs.gov/>.
20. USGS EarthExplorer. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/>.
21. Android applications for geological data capture / Y. Vikhot et al. *3<sup>rd</sup> International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences*, January 14–17, 2023, Konya, Turkey. 292 p.
22. Vikhot Y., Kril S. Using of Geographic Information Systems (GIS) in Geology, Geography and other Earth Sciences. *1<sup>st</sup> International Conference on Modern and Advanced Research*, July 29–31, 2023, Konya, Turkey. P. 121.

23. Vikhot Y., Kril S. Using online map resources in software to visualize different types of maps in Science of Earth. *3<sup>rd</sup> International Conference on Engineering, Natural and Social Sciences*, May 16–17, 2024. Konya, Turkey. P. 6.

#### REFERENCES

1. Vikhot, Yu.M., Bubniak, I.M., Kril, S.Ya. (2022). Tsyfrove heolohichne kartuvannya ta analiz poliovykh heodanykh instrumentamy ta plahinamy QGIS [Digital geological mapping and geodata analysis using tools and plugins of QGIS]. *Naukovi pratsi DonNTU. Serii Hirnycho-heolohichna*, (27) – 2 (28), 122–135 [in Ukrainian].
2. Vikhot, Yu.M., Kril, S.Ya. (2023). Osoblyvosti tradytsiinoho ta tsyfrovoho heokartuvannya pid chas polovykh doslidzhen ta provedennia praktyk u Karpatakh [Peculiarities of traditional and digital geomapping during field research and conducting practices in the Carpathians]. *Problemy heolohii Ukrainy: zbirnyk naukovykh prats*, Lviv: LNU imeni Ivana Franka, 59–61 [in Ukrainian].
3. DNVP “Heoinform Ukrainy”: Retrieved from: <https://geoinf.kiev.ua/wp/index.html>.
4. ArcGIS Online: Retrieved from: <https://www.arcgis.com/apps/mapviewer/index.html>.
5. ArcGIS Pro: Retrieved from: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-pro/overview>.
6. Barnes, John, Lisle, Richard (2004). *Basic Geological Mapping*. Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England: John Wiley & Sons Ltd. 1–204 pp. ISBN 978-0-470-84986-6.
7. De Donatis, M., Alberti, M., Cesarini, C., Menichetti, M., Susini, S. (2016). Open source GIS for geological field mapping: research and teaching experience. *PeerJ Preprints* 4: e2258v2. <https://doi.org/10.7287/peerj.preprints.2258v2>.
8. Geofabric Downloads: Retrieved from: <https://download.geofabrik.de/>.
9. National Geologic Map Database: Catalog search: Retrieved from: [https://ngmdb.usgs.gov/ngm-bin/ngm\\_compsearch.pl/](https://ngmdb.usgs.gov/ngm-bin/ngm_compsearch.pl/).
10. NextGIS: Spatial data for your project: <https://nextgis.com/datasets/>.
11. OpenStreetMap: <https://www.openstreetmap.org/>.
12. OpenTopography: High-Resolution Topography Data and Tools: Retrieved from: <https://portal.opentopography.org/datasets>.
13. Pavlis, T.L., Langford, R., Hurtado, J., Serpa, L. (2010). Computer-based data acquisition and visualization systems in field geology: Results from 12 years of experimentation and future potential. *Geosphere*, 6, 275–294.
14. QField: Retrieved from: <https://qfield.org/>.
15. QuickMapServices: plugins for QGIS: Retrieved from: [https://plugins.qgis.org/plugins/quick\\_map\\_services/](https://plugins.qgis.org/plugins/quick_map_services/).
16. Spatial data for your project: Retrieved from: <https://nextgis.com/datasets/>.
17. Sprinkel Douglas, Brown Kent (2008). Using digital technology in the field, *Survey Notes* 40 (1): 1–2 p.
18. The National Map Viewer: Retrieved from: <https://apps.nationalmap.gov/viewer/>.
19. U.S. Geological Survey: Retrieved from: <https://www.usgs.gov/>.
20. USGS EarthExplorer: Retrieved from: <https://earthexplorer.usgs.gov/>.
21. Vikhot, Y., Kril, S., Bubniak, I. (2023). Android applications for geological data capture. *3rd International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences*. January 14–17, Konya, Turkey, p. 292.
22. Vikhot, Y., Kril, S. (2023). Using of Geographic Information Systems (GIS) in Geology, Geography and other Earth Sciences. *1st International Conference on Modern and Advanced Research*, July 29–31, Konya, Turkey, p. 121.
23. Vikhot, Y., Kril, S. (2024). Using online map resources in software to visualize different types of maps in Science of Earth. *3rd International Conference on Engineering, Natural and Social Sciences*, May 16–17, Konya, Turkey, p. 6.

## DATA SOURCES FOR DIGITAL GEOLOGICAL MAPPING

**Yuriy Vikhot<sup>1,3</sup>, Ihor Bubniak<sup>2</sup>, Solomiia Kril<sup>1,3</sup>**

*<sup>1</sup>Ivan Franko National University of Lviv,  
Hrushevskoho str., 4, Lviv, Ukraine, 79005  
e-mail: yuvik@ukr.net; fourman@i.ua*

*<sup>2</sup>Lviv Polytechnic National University,  
Karpinskoho str., 6, Lviv, Ukraine, 79013  
e-mail: ibubniak@yahoo.com*

*<sup>3</sup>UkrNDIgas, GSC "Ukrigasvydobuvannya",  
Stryiska str., 144, Lviv, Ukraine, 79000  
e-mail: solia\_kr@ukr.net*

The construction of reliable, detailed digital geological map, which with geological profiles, is the primary basis for planning detailed structural, geophysical, gas-geochemical, hydrogeological and other research, prospecting and reconnaissance works, cannot be qualitatively performed without the use of existing maps, data of various types of geological mapping obtained during recent field research using modern geoinformation technologies, specialized software for complex analysis of geodata, applications for smartphones, tablets for recording and supplementing databases in the field, as well as downloading available map data from online resources.

The purpose and novelty of the article is the demonstration of the features of the construction of a modern geological map by the complex application of traditional and digital geological mapping (CGK) with the use of data collection by applications for smartphones, tablets, online resources with the ability to download available cartographic data and other means that speed up the process of creating a modern dynamic and interactive map, show the peculiarities of digital and traditional mapping for the territory with difficult accessibility to research objects, as well as lack of access to basic online maps during field research.

The article demonstrates methods of creating a complex dynamic digital map for solving current problems in geology and earth sciences (using the example of the studied areas of Carpathians foredeep, Ukrainian Carpathians, Transcarpathian), as a basis for mapping geological mapping data, data of various types of field research (structural, gas-geochemical, hydrogeological, etc.) and ready-made data that can be downloaded from online resources.

A digital comprehensive geological map, together with a topographic base, as well as geodata on structure, lithology, stratigraphy, geochemical composition and other data, especially for regions with a complex geological structure and accessibility to research objects (Ukrainian Carpathians, Transcarpathian), is the basis for the analysis and interpretation of the deep structure, construction of reliable and clarification of the existing deep geological profiles, clarification of the 3D model of the deep structure.

*Key words:* digital geological mapping (DGM), digital geological map, field research, geoinformation systems (GIS) and geoinformation technologies (GIT), digital geological mapping applications, geodata sources for mapping, Carpathians, Ukrainian Carpathian foredeep, Transcarpathian.