

УДК 551.1+ 551.24

[https://doi.org/10.31474/2073-9575-2022-1\(27\)-2\(28\)-122-135](https://doi.org/10.31474/2073-9575-2022-1(27)-2(28)-122-135)Ю.М. Віхоть
С.Я. Кріль
І.М. Бубняк

ЦИФРОВЕ ГЕОЛОГІЧНЕ КАРТУВАННЯ ТА АНАЛІЗ ПОЛЬОВИХ ГЕОДАНИХ ІНСТРУМЕНТАМИ ТА ПЛАГІНАМИ QGIS

Мета. Продемонструвати можливості, способи та переваги застосування плагінів Quantum GIS (QGIS), мобільних додатків для цифрового геологічного картування, внесення та первинний аналіз польових геоданих у низці наук про Землю – структурна геологія, інженерна геологія, гідрогеологія, екологія, геофізика тощо.

Методика. Використано низку інструментів та плагінів QGIS, ГІС-програми з відкритим вихідним кодом, що працює на найпоширеніших платформах – Windows, MacOS X, Linux та мобільних додатків на Android, iOS для цифрового картування та структурних геоданих і візуалізації.

Результати. Проаналізовано найважливіші інструменти та плагіни QGIS – Georeferencer GDAL, GarminCustomMap, Profile Tool, VoGIS-ProfilTool, qProf, qgSurf, Stereonet, qgis2web, додаток QField. Коротко наведено способи їхнього застосування для цифрового геологічного картування, внесення та аналізу структурних та інших геоданих, побудови топографічних 2D-профілів, візуалізації геоданих у веб-браузерах.

Наукова новизна. Визначені інструменти та плагіни QGIS, що необхідні для роботи з різними видами даних на геологічних картах, їхнього аналізу, та побудови геологічних та геофізичних профілів. Програмні додатки QGIS дають можливість додавати нові плагіни, створювати власні позначки для цифрового картування, що можуть бути використані для вирішення конкретних геологічних завдань та аналізу геопросторових і геологічних даних, або додавати вже готові спеціалізовані геологічні позначення відповідно до геологічних стандартів.

Практична цінність. Комплексне застосування базових, додаткових зовнішніх плагінів QGIS та спеціалізованих геологічних позначень сприяє проведенню ефективного польового цифрового картування, сучасній візуалізації різного виду геологічних карт з просторовою прив'язкою, створенню нових цифрових електронних та комплексних демонстраційних карт для друку та візуалізації їх у веб-браузерах, побудові топографічних та геологічних 2D - профілів, ГІС-аналізу структурних геоданих, аналізу крутизни схилів та ін. Дані, отримані у QGIS можуть бути імпортовані у такі спеціалізовані геологічні та геофізичні програми, як Petrel Exploration & Production Software Platform (Shlumberger), MOVE Software (Midland Valley) та ін.

Ключові слова: Quantum GIS, інструменти та плагіни QGIS, цифрове геологічне картування, QField, ГІС-аналіз структурних геоданих, аналіз крутизни схилів.

Вступ.

Цифрове геологічне картування та моделювання є сучасним напрямом у розвитку та впровадженні геоінформаційних систем (ГІС) і технологій у геологію, а загалом і в науки про Землю. Цифрове геологічне картування є досить складним і довготривалим процесом, проте зараз є основою для створення сучасних картографічних продуктів для різних цілей, які пов'язані з вирішенням тих чи інших завдань, наприклад, при польових геологічних дослідженнях, моделюванні у геології, гідрогеології, екології, геофізиці тощо.

Використання геоінформаційних систем для геологічної картографії у світі розпочалося наприкінці 80-х років XX ст. з комерційної програми ARC / INFO, яка зараз відома як ArcGIS [1]. Такі підходи привели до отримання нових здобутків у опрацюванні геологічних даних та інформації. Проте вони відштовхнули

багатьох польових геологів, котрі використовували традиційний спосіб картографування, тобто занотовували свої польові спостереження (ескізи відслонень, заміри, описи точок спостереження та ін.) олівцем на папері. Цифрові фотографії часто доповнювали ескізи та використовували пристрої для фіксації місць спостережень за допомогою глобальної системи позиціонування GPS, ніж при простій прив'язці до положення стосовно певних топографічних елементів. Все частіше польові дані почали записувати та впорядковувати на персональних (ПК) та кишенькових (КПК) комп'ютерах, планшетах, що мають інструмент стилус. Тому цілком закономірно, що багато геологів через декілька років почали працювати з ГІС в комп'ютерних ГІС-лабораторіях, замінивши їх традиційне картографічне відображення даних за допомогою олівців на папері. ГІС значно

полегшували можливість як надавати інформацію у картографічній формі, так і аналізувати, редагувати, інтерпретувати просторові дані. При таких підходах з'явилась можливість збирати різномірні дані в одному проекті, наприклад, накладати на геологічні карти райони з осувами, співставляти карти лінеаментів з річковою системою та літологічними типами порід та ін.

Починаючи зі створення комерційного програмного забезпечення, з появою кращих операційних систем та обладнання, створення моделей ручки зі стилусом почала зароджуватися ідея залучення ГІС безпосередньо для польових геологічних робіт та геологічних вишукувань. Використання цифрових пристроїв має велику кількість переваг: більша точність прив'язки, ефективне розділення даних та якісніша інтерпретація, візуалізації даних у вигляді векторних та растрових зображень збільшується в рази тощо. Зазначений прогрес, однозначно, сприяє швидкому та якісному цифровому геологічному картуванню, а сучасне програмне забезпечення дає змогу аналізувати геопросторові дані і здійснювати побудову якісних моделей у геології, екології, геофізиці та інших науках про Землю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Протягом останніх десятиліть технологія геоінформаційної системи почала змінювати підходи геологічного картографування, надаючи програмні засоби, що дозволяють наносити геометрію та характеристики тіл гірських порід та інші геологічні особливості, зберігати їх в електронному вигляді, відображати, аналізувати у поєднанні з безліччю інших типів даних. І таких прикладів застосування ГІС у геології, екології, геофізиці та інших науках про Землю є безліч.

Світовим лідером серед програмного забезпечення для просторового аналізу є компанія ESRI [1], що розробила низку програмних продуктів для цифрового картування. Проте програмне забезпечення ArcGIS цієї компанії є комерційним і не кожна організація, університет, науковець може дозволити собі придбати його і використовувати для геологічних,

гідрогеологічних, екологічних, геофізичних та інших подібних наукових дослідженнях.

Поява програмного забезпечення такого як Quantum GIS, відомого як QGIS [2–7] сприяє доступності застосування геоінформаційних систем у геології та інших науках про Землю. Однією із найбільших переваг є те, що воно є у вільному доступі, його можна завантажити з офіційного сайту [7] і користуватися без будь-яких дозволів та ліцензій, не порушуючи авторські права.

Упродовж останніх років QGIS є однією із найпопулярніших ГІС-програм з відкритим вихідним кодом. Вона розроблена та поширена у світі, починаючи з 2002 р. (розробник G. Sherman) [8]. Починаючи з 2004 р. темпи розвитку QGIS значно зросли. Поширенню та застосуванню цього програмного забезпечення сприяє й те, що його розробниками і тестувальниками є представники багатьох країн світу. Програмне забезпечення почали розробляти в рамках популярного проекту SourceForge, що належить до платформи з розробки та розповсюдження програмного забезпечення з відкритим вихідним кодом (<https://sourceforge.net>). Зараз QGIS має власну структуру та веб-сайт (<https://www.qgis.org> [9, 10]) і розробляється у рамках проекту у найбільшому геопросторовому фонді з відкритим вихідним кодом – Open Source Geospatial Foundation (OSGEO: <https://www.osgeo.org>).

Суттєвою перевагою QGIS є те, що вона інтегрується з іншими ГІС-пакетами з відкритим вихідним кодом, такими як PostGIS, GRASS GIS та MapServer, і завдяки цьому має широке застосування та функціональність [3]. Крім того, зовнішні модулі QGIS, які легко додаються до програми, створюють та тестують багато розробників [11]. Тому програмне забезпечення QGIS з використанням найновіших зовнішніх модулів є актуальним та має переваги при сучасному цифровому геологічному картуванні та моделюванні в геології, екології, геофізиці та інших науках про Землю, та при аналізі геоданих. Завдяки геоінформаційним системам увесь набір даних, що містить цілу низку різномірної інформації, інтегрується в єдину аналітичну модель для картографічного прогнозування, цифрових побудов тощо.

За останні десятиліття все частіше з'являються публікації, у яких

використовують геоінформаційні системи для аналізу просторових даних у науках геологічного профілю, що використовують велику кількість спеціалізованих та картографічних даних з просторовою прив'язкою. Найпопулярнішим програмним забезпеченням серед них є – ArcGIS Desktop (ESRI), AutoCAD (Autodesk), MapInfo (MapInfo Corporation) та ін. Однак публікації з використанням QGIS для аналізу даних у науках про Землю мають спеціалізований характер [12–16], оскільки це програмне забезпечення є доволі новим.

Поряд із комерційним програмним забезпеченням ArcGIS актуальним є використання QGIS, що містить низку зовнішніх модулів (плагінів), які мають спеціалізоване застосування для більш вузького призначення і вирішують окремі завдання у різних галузях наукових досліджень у науках про Землю. Зовнішні модулі QGIS постійно тестуються та оновлюються.

Мета досліджень.

Метою роботи є аналіз найважливіших інструментів і зовнішніх модулів програмного забезпечення QGIS та способи їх застосування для цифрового геологічного картування та моделювання у геології, гідрогеології, екології, геофізиці, географії та інших науках про Землю для створення електронних геологічних карт, оцифрування, візуалізації даних, структурного аналізу, моделювання процесів, побудови топографічних та геологічних профілів, блок-діаграм, внесення та редагування даних гідрогеологічних спостережень, фіксування рівня води, буріння, аналізу сейсмічних даних та ін.

Ще одна мета – продемонструвати альтернативні можливості доступної для використання та багатофункціональної Quantum GIS з відкритим кодом, яка є ефективною та чудовою заміною традиційного дорогого програмного забезпечення ArcGIS Desktop (ESRI).

Методи дослідження.

При виборі програмних додатків для цифрового картування та аналізу геоданих засобами QGIS використано низку інструментів та програмних модулів QGIS.

Застосовані базові та зовнішні програмні модулі QGIS – Georeferencer

GDAL, GarminCustomMap, Profile Tool, VoGIS-ProfilTool, qProf, qgSurf, Stereonet, qgis2web, додаток QField для цифрового геологічного картування, аналізу структурних даних, побудови 2-D профілів.

Виклад основного матеріалу.

Завданнями в багатьох геологічних дослідженнях, а особливо при цифровому геологічному картуванні поряд із створення єдиної геологічної карти, є отримання моделі бази даних цієї карти, що є основою для створення різних типів карт, на яких можна було б наносити ті чи інші спеціальні об'єкти та дані (геологічні, структурні, екологічні, гідрогеологічні, геофізичні і т.д.) для подальшого співставлення та аналізу. Тому важливо вибрати таке програмне забезпечення, яке керуватиме базами даних, і після створення моделі карти даватиме змогу редагувати та оновлювати інформацію, додаючи дані нових спостережень та інтерпретацій, але за умови збереження її цілісності шляхом перетворення, за потреби, у новий формат або структури даних.

Основним завданням QGIS є перегляд, редагування, опрацювання, аналіз просторових даних та створення картографічної продукції. QGIS дає змогу створювати карти, що містять низку спеціальних шарів, використовуючи різні картографічні проекції, для вирішення більш спеціалізованих завдань в усіх науках про Землю. У QGIS карти створюють або імпортують у вигляді растрових (геоприв'язка різних видів карт) або векторних шарів (у вигляді точок, ліній, полігонів, що мають просторову прив'язку). QGIS працює з усіма відомими векторними та растровими форматами, включаючи ESRI Shapefile, DXF, і GeoTIFF, і дає змогу використовувати персональні бази геоданих, веб-сервіси (Web Map Service та Web Feature Service) для використання даних із зовнішніх джерел.

Саме тому, платформа QGIS є однією із найбільш функціональних і зручних геоінформаційних систем, що дає змогу вирішити завдання, що постають під час цифрового геологічного картування, різних типів моделювання та загалом досліджень, що мають справу з картою, координатами та просторовими даними. QGIS є вільною геоінформаційною системою, що

поширюється на умовах GNU General Public License. Програмне забезпечення працює на усіх відомих та найпоширеніших платформах – Windows, MacOS X, Linux та Android.

QGIS містить модульні розширення, які можна редагувати та створювати на мовах C++ і Python, що забезпечує всесторонню інтеграцію з іншими відкритими ГІС-пакетами (PostGIS, GRASS, MapServer).

QGIS динамічно розвиваються і на сьогодні найновішою версією є QGIS 3.28.1 «Firenze», 18.11.2022 [7]. Крім того, програмне забезпечення QGIS може бути налаштоване для виконання більш спеціалізованих завдань завдяки використанню зовнішніх модулів, або плагінів. Модулі, що написані з використанням мови Python або C++, розширюють можливості та базову функціональність QGIS. Їх можна геокодувати за допомогою API геокодування Google, виконувати геоопрацювання за допомогою інструментів, подібних до таких, що є у ArcGIS Desktop (ESRI) [7 – 11].

QGIS складається з внутрішніх та зовнішніх модулів. Внутрішні модулі включені у ядро програми. Зовнішні модулі зберігаються у електронному сховищі QGIS (<http://plugins.qgis.org/plugins/> [11]), звідки їх, при потребі, можна завантажити. На сьогодні доступні близько 500 зовнішніх модулів для QGIS, які надають додаткові можливості візуалізації та редагування растрових та векторних геоданих, надають графічні інтерфейси для інших ГІС, інтегруючи їх з Інтернетом та багато інших можливостей. Таким чином, найбільш функціональні модулі включають у ядро QGIS і переносять у нові версії QGIS. Через значну кількість розроблених модулів часто вони автоматично розподіляються у головному мені програми QGIS у відповідних тематичних полях (растрові, векторні, інструменти GPS, бази даних тощо).

У нашій праці показані результати аналізу та способи застосування інструментів та модулів програмного забезпечення QGIS для вирішення завдань геології, екології, гідрогеології, геофізики та інших наук про Землю. Серед низки спеціалізованих модулів в QGIS [11] варто виокремити такі, що є корисними для

вирішення конкретних завдань при цифровому геологічному картуванні та моделюванні, структурному аналізі, гідрогеологічних дослідженнях, побудові гідрогеологічних та геологічних профілів, аналізі геоданих тощо.

Геоприв'язки растрових зображень за допомогою спеціалізованих модулів у QGIS. У більшості ГІС-проектах необхідно виконати геоприв'язку растрових даних (топографічних, сканованих карт тощо) для подальшого оцифрування елементів на карті (точкових, лінійних, полігональних та ін.). У QGIS її можна здійснити за допомогою внутрішнього модуля – Georeferencer GDAL. Цей модуль дозволяє за координатами, які можуть бути отримані GPS-пристроєм або за позначеннями для декількох об'єктів на картах, перетворити растрове скановане зображення, так щоб воно відповідало обраній системі координат і уся інформація на ньому мала відповідну геопросторову прив'язку.

Інший внутрішній модуль – GPS – інструмент, що відповідає за прив'язку з використанням глобальної системи позиціонування за точками та служить для завантаження та імпорту даних з пристроїв GPS. Серед зовнішніх модулів QGIS є модуль GarminCustomMap (розробник S. Blumentrath), який використовується для експортування карт у формат *.kmz і є сумісним з форматом карт для пристроїв Garmin GPS. Таким чином, окремі спеціалізовані карти, що створені або отримали геоприв'язку у QGIS, можна використовувати як фонові растрові карти у пристроях моделей Garmin GPS.

Використання наведених модулів є корисним при польових дослідженнях, пов'язаних з цифровим геологічним картуванням, нанесення меж об'єктів, виявленні певних особливостей на конкретній ділянці досліджень з використанням фіксації точок спостережень GPS-пристроями, а також для завантаження карт з географічною прив'язкою у GPS-пристрої.

Побудова 2D-профілів модулями QGIS. Важливим інструментом візуалізації просторових двовимірних даних є розрізи, або профілі (геологічні, гідрогеологічні та ін.), що у комплексі з геологічною картою дають знання та розуміння глибинної будови ділянки дослідження. Для побудови 2D-

профілів необхідна топографічна базова карта з горизонталями зі значеннями висот. Для цього використовують готову цифрову модель висот, або Digital Elevation Model (DEM), що є доступною для завантаження (SRTM, <http://srtm.csi.cgiar.org/>). Створення таких моделей є проривом у цифровому картографуванні та сприяє доступності високоякісних цифрових даних висот. Цифрові моделі завантажують як у форматі ArcInfo ASCII, так і у GeoTiff, що сприяє широкому використанню їх у різноманітних програмах для внесення, редагування, опрацювання та аналізування зображень та геоданих.

У QGIS є декілька модулів, що дозволяються створити 2D-профілі. Модуль Profile Tool (<https://plugins.qgis.org/plugins/profiletool/>), розробниками якого є В. Jurgiel, Р. Verchere, Е. Tourigny, Ж. Veserra, містить набір інструментів, що дають змогу побудувати лінії топографічних профілів з растрових зображень або векторних шарів, що містять цифрові дані висот. Цей модуль підтримує експортування готових профілів в векторні та растрові формати (*.svg, *.png), а також у формат *.dxf.

Для візуалізації використано цифрову модель висот (DEM) Львівської області (SRTM, <http://srtm.csi.cgiar.org/>, рис. 1 а) для побудови профілю рельєфу у поздовжньому (AB) та поперечних (CD, EF) напрямках (рис. 1 б).

Крім того, модуль Profile Tool дозволяє будувати криві для аналізу падіння схилів у відсотковому відношенні (рис. 1 в), або за кутами (рис. 1 г). Така візуалізація зображень (рис. 1 а-г) забезпечує швидкий аналіз перепадів висот та крутизну схилів досліджуваних ділянок, а також є основою для побудови та вибору оптимального розташування регіональних профілів (геологічних, геофізичних та ін.), у науках про Землю, що вимагають вивчення глибинної будови Землі з використанням профілів рельєфу.

Інший модуль VoGIS-ProfilTool (розробник BergWerk GIS) також забезпечує створення топографічного профіля за декількома точками з цифрової моделі або цифрової лінії, що містить значення висот. Перевагою цього модуля є його здатність експортувати отримані дані як у растрові та векторні формати, так і у шейпфайли (*.shp),

що можна відкрити у програмному додатку ArcMap (ESRI ArcGIS Desktop), і навіть у формат, що можна відкрити у Microsoft Excel. Така особливість значно розширює застосування модуля VoGIS-ProfilTool.

Отже, модулі QGIS – Profile Tool та VoGIS-ProfilTool, в основному, є модулями, що дозволяють створити цифровий профіль, який відображає рельєф. Топографічний профіль є основою для побудови геологічного профілю, або будь-якого іншого, що використовують для вивчення глибинної будови.

Проте недоліком модулів Profile Tool та VoGIS-ProfilTool є те, що геологічні границі, розломи, точки спостереження з кутами падіння пластів гірських порід та інші геологічні елементи неможливо спроекувати на потрібну лінію рельєфу.

Втім завдання, пов'язані з вирішенням питань геології, виконує спеціальний модуль qProf, розробниками якого є М. Alberti та М. Zanieri (<https://plugins.qgis.org/plugins/qProf/>). Цей модуль дає змогу створювати як топографічні, так і геологічні профілі на основі наявних даних.

Для побудови геологічного профілю за допомогою інструментів модуля qProf, що відкривається у вигляді окремого діалогового вікна (рис. 2), насамперед необхідно створити топографічний профіль з даних, що представлені однією або декількома DEM, або даними з файлу *.gpx (текстовий формат зберігання та обміну даними GPS-пристроїв). Для цього потрібно задати лінію профілю (Digitize line) або вручну, або вже з готового шейпфайлу (формат *.shp), створеного у QGIS (див. рис. 2).

Після побудови топографічного профілю (рис. 3 а) до нього додають будь-які геологічні дані, отримані під час польових геологічних спостережень, але лише для профілів, створених за допомогою лінії, що містить дві (початкову та кінцеву) точки.

Дані отримують як з точкових, лінійних, так і полігональних шарів, які зберігаються в атрибутивних таблицях, а також із шейпфайлів програмного забезпечення ESRI ArcGIS Desktop (ArcMap). Геологічні дані або проектують на профіль (наприклад, елементи залягання), або перетинають його (геологічні межі, розломи, річки, контури відслонень).

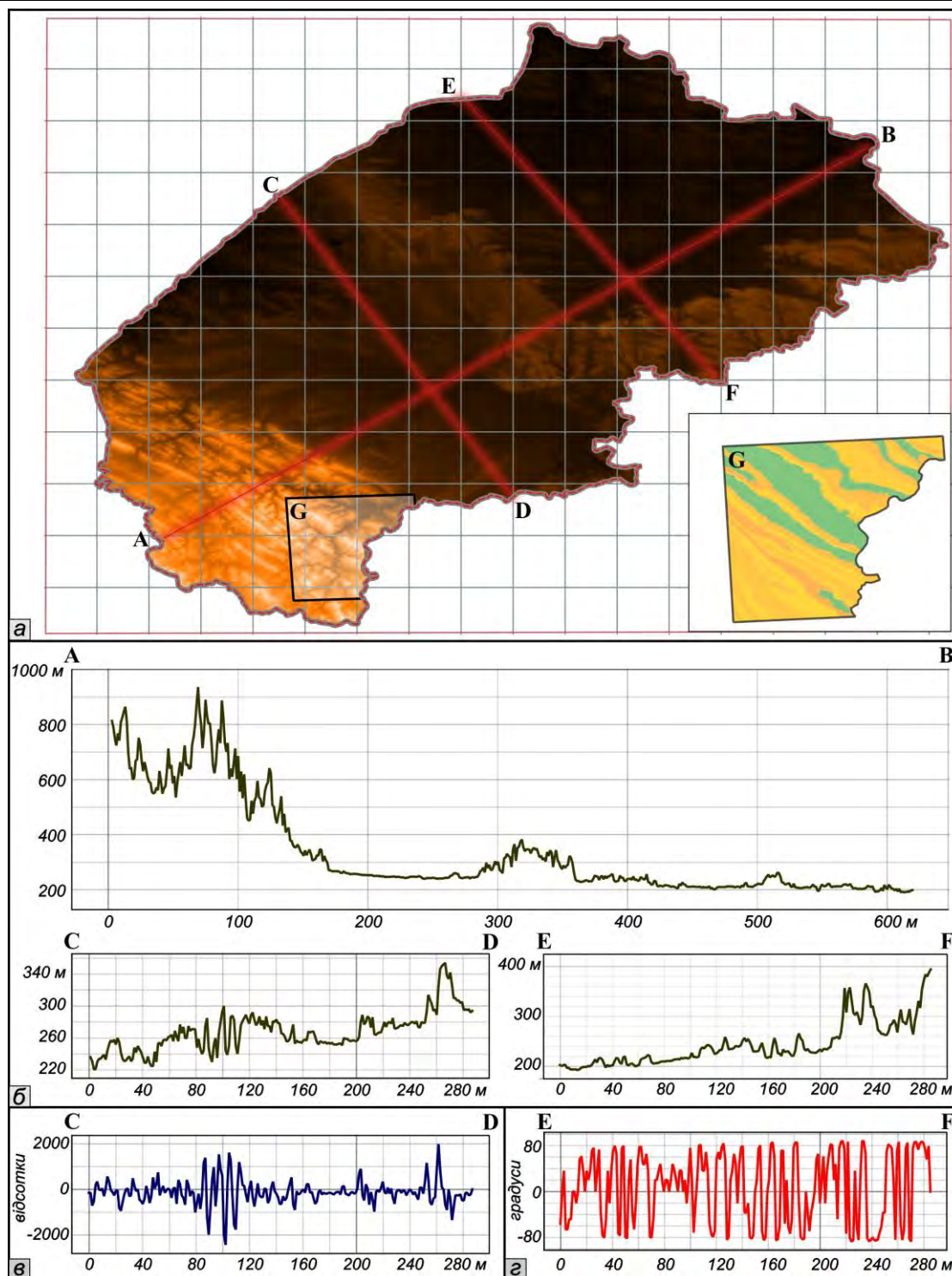


Рис. 1. Цифрова модель висот DEM для Львівської області (SRTM, <http://srtm.csi.cgiar.org/>) з фрагментом геологічної карти ділянки G (а), профілю рельєфу у поздовжньому (AB) та поперечних (CD, EF) напрямках (б), та крутизною схилів (в, г), що побудовані за допомогою QGIS з використанням модуля Profile Tool

Таким чином, на топографічний профіль проектують усі геологічні дані, а саме: елементи залягання (кут та азимут падіння пластів), геологічні границі, та

перетини з лінією профілю геологічних границь, розломів і відслонень, а також і топографічні дані – річки, озера, дороги тощо (рис. 3 б). Крім того, при побудові

топографічного профілю вибирають автоматичне створення профілю, який буде містити криву, що показує крутизну схилів у градусах (рис. 3 в). Завершальним кроком є експортування створених наборів даних у вигляді графічних або ГИС-даних (*.pdf, *.svg, *.tif, *.shp, *.csv) для подальшого опрацювання за допомогою графічного (CorelDraw, Inkscape) або спеціального геологічного програмного забезпечення (ArcGIS Desktop, Move Midland Valley).

Структурний аналіз у QGIS. У QGIS є низка зовнішніх модулів та інструментів для аналізу структурних геоданих. Аналіз площин і поверхонь та геоданих у програмі QGIS можна здійснити за допомогою зовнішнього модуля qgSurf, встановленого з електронного сховища QGIS [9]. Автором цього модуля є M. Alberti, який також є одним із розробників попереднього модуля qProf. Ці два модулі містять інструменти, що доповнюють один одного і розширюють їх застосування в геології, геофізиці, структурній та інженерній геології.

Модуль qgSurf містить інструменти необхідні для цифрового геологічного картування та аналізу структурних геоданих. Ці інструменти дозволяють вирішити наступні завдання: а) здійснити оцінку і вибір найкращого положення геологічних поверхонь з урахуванням трьох або більше точок на топографічній поверхні (Best fit plane); б) визначити перетин між геологічною площиною і топографічною поверхнею (DEM-plane intersection); в) обчислити відстані між точками і геологічною площиною (Point-plane distance); г) нанести геологічні дані на сітку у стереонеті (Stereonet).

Поєднуючи дані картографування або дистанційного зондування з топографічними даними (цифровими даними висот), інструмент Best fit plane дозволяє оцінити розташування площини, яка найкраще відповідатиме вибраному набору точок або ліній, що лежать на поверхні. Вибір площини є одним із головних завдань для геологічного картографування та аналізу геоданих. Запропоновані варіанти розташування площини можна зберігати, редагувати, видаляти, візуалізувати у вигляді даних на стереографічній проекції та у вигляді шарів на карті (рис. 4).

Інший інструмент Stereonet модуля qgSurf дозволяє візуалізувати геодані на стереографічних сітках у вигляді великих кіл, полюсів, що представляють площину (тріщин, напластування тощо), або векторів (дзеркал ковзання із рисами ковзання) (рис. 5). Вхідні геодані отримують з даних, що зберігаються або в точковому шарі, або використовують ручне їх введення (див. рис. 5).

При введенні даних з точкового шейпфайлу, орієнтації площини або осей визначають через відповідні поля у атрибутивній таблиці, що зберігають їх значення. При побудові площин, ліній або осей розломів за лініями ковзання, необхідно визначити відповідні вихідні поля для різних типів геоданих: наприклад, для дзеркал ковзання з лініями ковзання необхідно визначити азимут падіння і кут падіння площини, а також азимут падіння (rake) та інші величини, що описують лінійний елемент на площині (line trend, dip) і також обов'язково вказати різновид розривних порушень, тобто кінематичний тип (N – позначення скиду, R – позначення підкиду, насуву).

Геодані можна також додатково вводити безпосередньо у текстове діалогове вікно, наприклад, для площин, осей, площин та осей, дзеркал з рисами ковзання (див. рис. 5). Результати з нанесеними даними на стереографічних проекціях зберігають як у растрових, так і у векторних форматах, наприклад, *.svg, *.pdf.

Здійснити аналіз та побудову структурних геоданих на стереографічних проекціях можна за допомогою модуля QGIS – Stereonet, розробником якого є D. Childs. Цей модуль дає змогу наносити дані геологічних структур на основі імпортованих даних з текстового формату *.csv, у якому міститься інформація про точки спостереження та елементи залягання (стовпці з напрямом і кутом падіння повинні називатися, відповідно, “*ddr*” і “*dip*”). Проте цей модуль є досить примітивним і містить незначну кількість інструментів, тому має вузьке застосування. За допомогою модуля Stereonet не можна наносити на стереографічні проекції складніші структурні дані, наприклад, дзеркала ковзання з даними про риси ковзання, їхній кінематичний тип тощо.

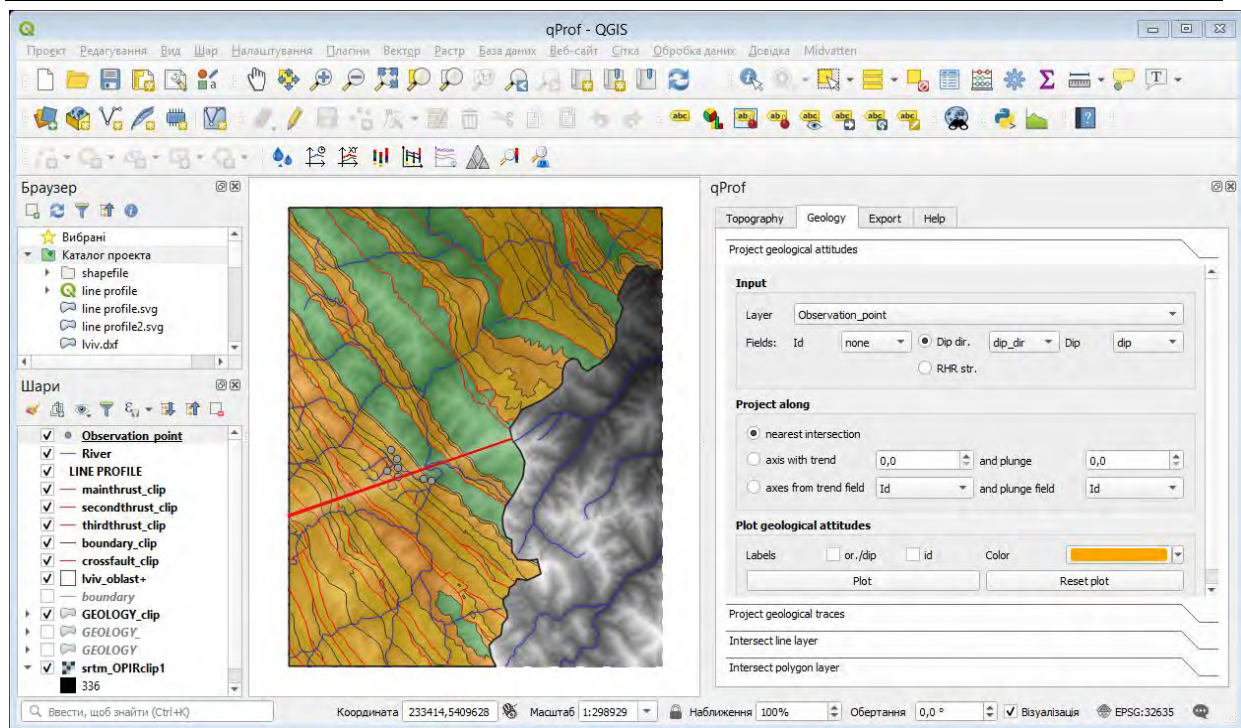


Рис. 2. Цифрова модель висот DEM, фрагмент геологічної карти та лінія профілю у програмі QGIS з використання модуля qProf (розташування ділянки показано на рис. 1)



Рис. 3. Приклад побудови топографічного профілю (а), геологічного профілю (б) з нанесенням геоданих (точками показані геологічні межі) та профілю, що вказує на крутизну схилів у градусах (в) за допомогою модуля qProf у програмі QGIS для лінії, що вказана на рис. 2

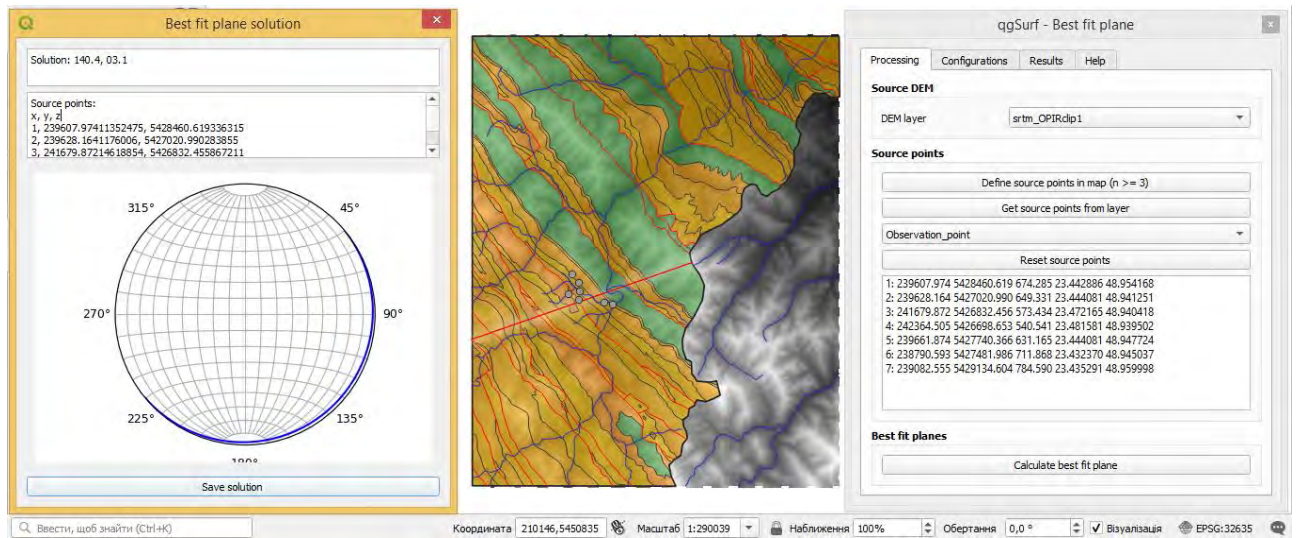


Рис. 4. Приклад найкращого розташування площини відносно точок з використанням інструмента Best fit plane (модуль qgSurf) у програмі QGIS

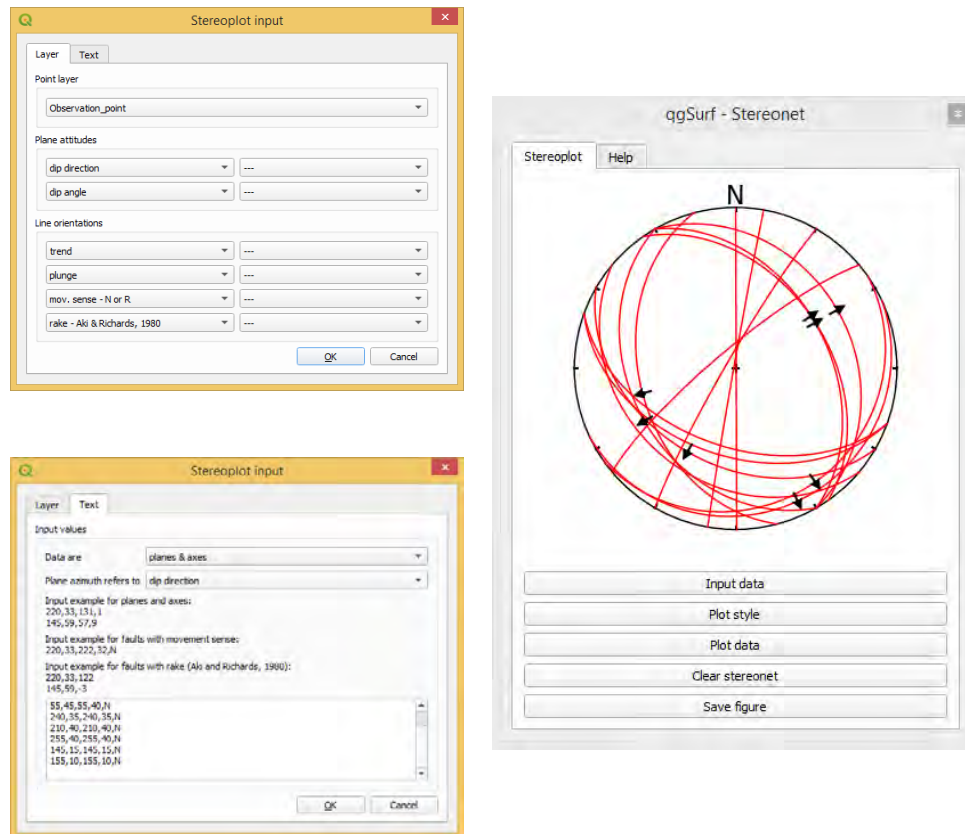


Рис. 5. Приклади введення та побудова структурних геоданих на стереографічних проєкціях за допомогою Stereonet модуля qgSurf у програмі QGIS

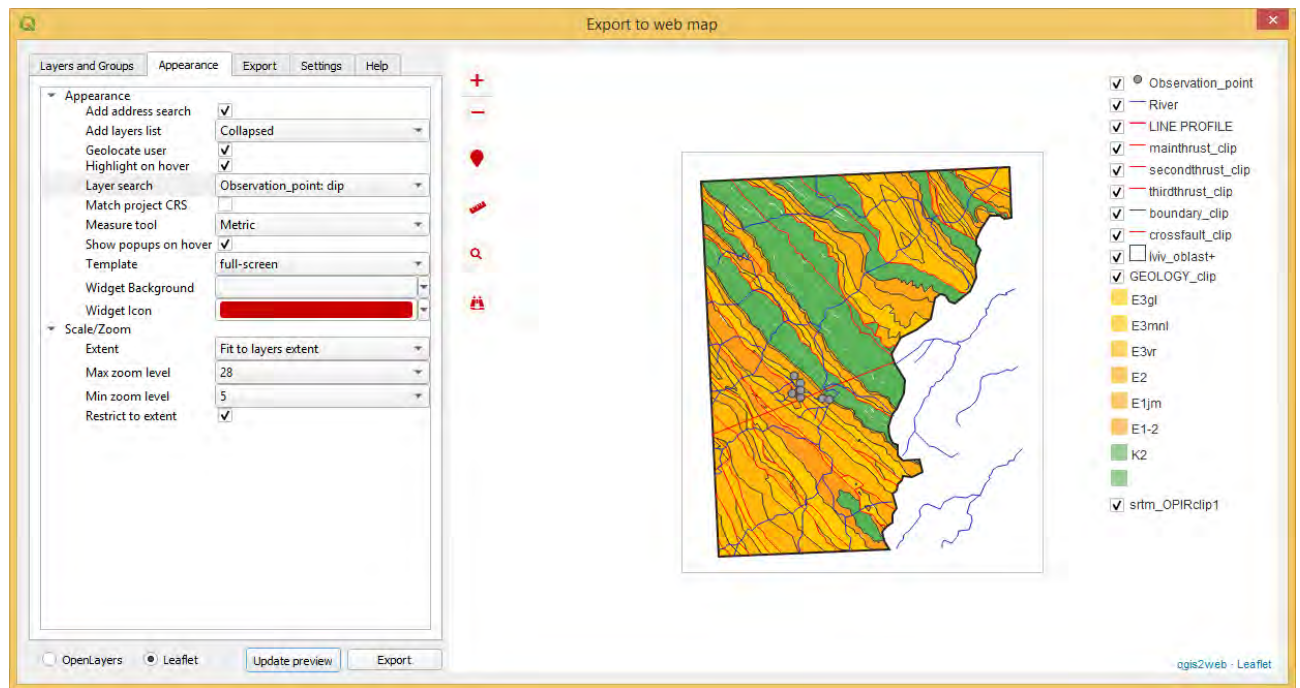


Рис. 6. Створення веб-карти з поточного проекту QGIS за допомогою модуля qgis2web для перегляду її у веб-браузері, або експортування її у мережу Інтернет

Модулі для візуалізації карт та геоданих у веб-браузерах. На сьогодні дуже популярними є цифрові електронні карти (геологічні, екологічні, геофізичні тощо). Популярність таких карт зростає завдяки доступності їх через мережу Інтернет. Крім того, часто виникає необхідність розміщення електронних карт для цифрового польового геологічного картування, наприклад, для уточнення геологічних границь, нанесення додаткових точок спостережень з елементами залягання, відбору взірців з певних геологічних відкладів, а також співставлення з іншими типами карт. Вирішити таку проблему дозволяє модуль програми QGIS – qgis2web (<https://plugins.qgis.org/plugins/qgis2web/>). Розробниками цього модуля є Т. Chadwin, R. Klinger, V. Olaya, N. Dawson.

За допомогою модуля qgis2web можна створити таку веб-карту з поточного проекту QGIS, так як, для прикладу, із бібліотек OpenLayers або Leaflet, що також призначені для відображення карт на веб-сайтах. Інструменти модуля qgis2web копіюють усі властивості QGIS проекту, включаючи шари (шейпфайли), стилі (в тому числі класифіковані і градузовані) під час створення веб-карти (рис. 6). Створення

детальних цифрових карт району досліджень з різними геоданими і розміщення їх на сайтах, дозволяє в онлайн-режимі, маючи доступ до інтернету, переглядати під час польового геологічного картування місця розташування об'єктів за допомогою доступу до місця розташування за допомогою GPS, фіксувати точки спостереження, вносити корективи та аналізувати їх з геоданими з іншими типів карт. Це дозволяє ефективніше проводити відбір взірців, різнобічно аналізувати структурні чи будь-які інші геологічні дані вже у полі, що значно пришвидшує вирішення певного конкретного завдання.

Додатки для смартфонів, айфонів, планшетів, ноутбуків для цифрового картування. Для того, щоб використовувати усю потужність QGIS є додатки, що дозволяють працювати у полі при зборі різного виду геологічних даних [17].

Серед них QField (<https://qfield.org/>) є одним із найкращих додатків, який можна встановити на пристрої, що використовують Android, iOS, MacOS (рис. 7). Для операційних систем Window, Linux цей додаток тестують [17].

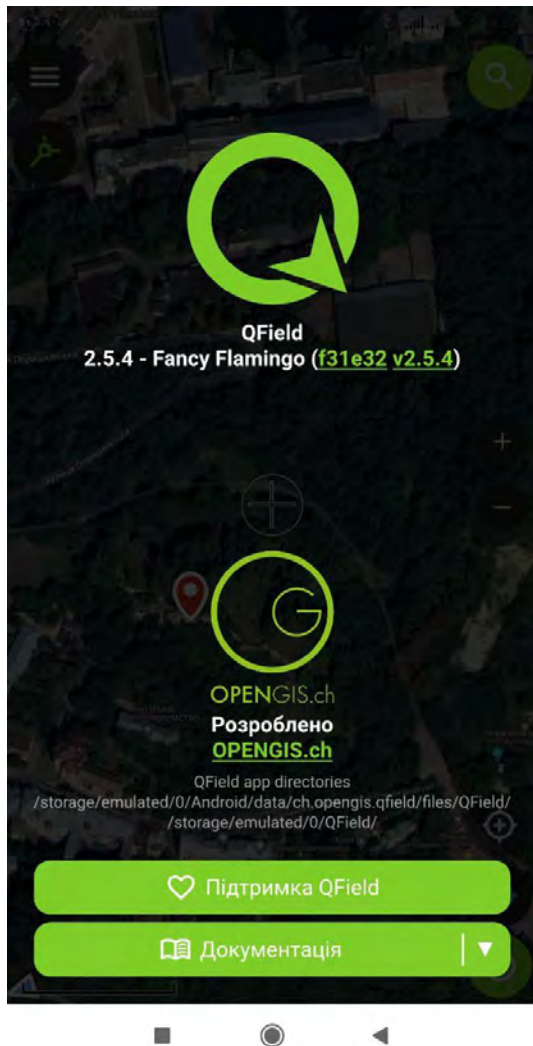


Рис. 7. Скрін додатку *QField*, встановленого на смартфон з системою Android 9.0

QField дозволяє ефективно працювати з даними *QGIS* проектів у полі. Таких проектів можна завантажити на пристрій необмежену кількість і працювати з ним по необхідності. Крім того, у проектах *QField* можна завантажувати різноманітні геологічні, гідрогеологічні, геофізичні карти, але обов'язково з просторовою прив'язкою.

Синхронізувати проекти з пристроями для роботи в полі для цифрового картографування можна різними способами. Плагін *QFieldSync* у програмі *QGIS* допомагає підготувати та запакувати проекти *QGIS* для *QField* і розповсюдити їх на потрібних пристроях, на яких встановлені додатки.

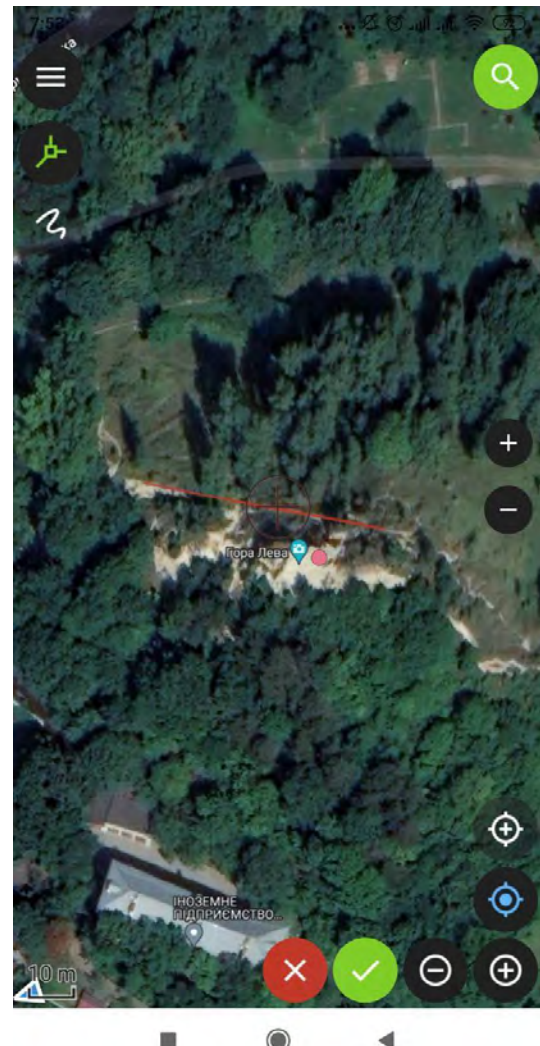


Рис. 8. Приклад цифрового картування у межах м. Львів (гора Лева) з використанням карти Google Satellite Hybrid

Створення точкових, полігональних, лінійних шейпфайлів (файлів *QGIS*) у межах проекту, синхронізація з пристроями дозволяє у полі наповнювати даними атрибутивні таблиці цих шейпфайлів у точках спостереження (рис. 8, 9).

Для інтеграції, керування та передачі даних між пристроями та ноутбуком, на якому встановлена програма *QGIS* та опрацьовуватимуться остаточні дані цифрового картування, найкраще використовувати хмарне сховище *QFieldCloud* (рис. 10). Воно забезпечує ефективне отримання польових даних через миттєву синхронізацію за наявності стабільної мобільної передачі даних, або WI-FI Інтернету.



Рис. 9. Приклад цифрового картування у межах м. Львів (гора Лева) з використанням карти OpenStreetMap Standart

Єдиним недоліком використання QFieldCloud є його платний доступ у разі використання великої кількості мб. Таким чином, проведення цифрового картування та опрацювання даних стає швидким та ефективним процесом без підключення пристроїв через кабелі, а за допомогою мобільних даних або мережі Інтернет.

Таке використання є важливим для виконання великого проекту, у якому приймають участь багато груп, що теж проводять відбір різного виду геологічних даних та працюють у віддалених частинах ділянки досліджень. Синхронізація і обмін даними сприяє ефективному збору даних, якісному цифровому картуванню, швидкісній передачі даних на головних ноутбук, на якому опрацьовуються кінцеві дані про цифровому картуванню, аналізу польових геологічних даних.

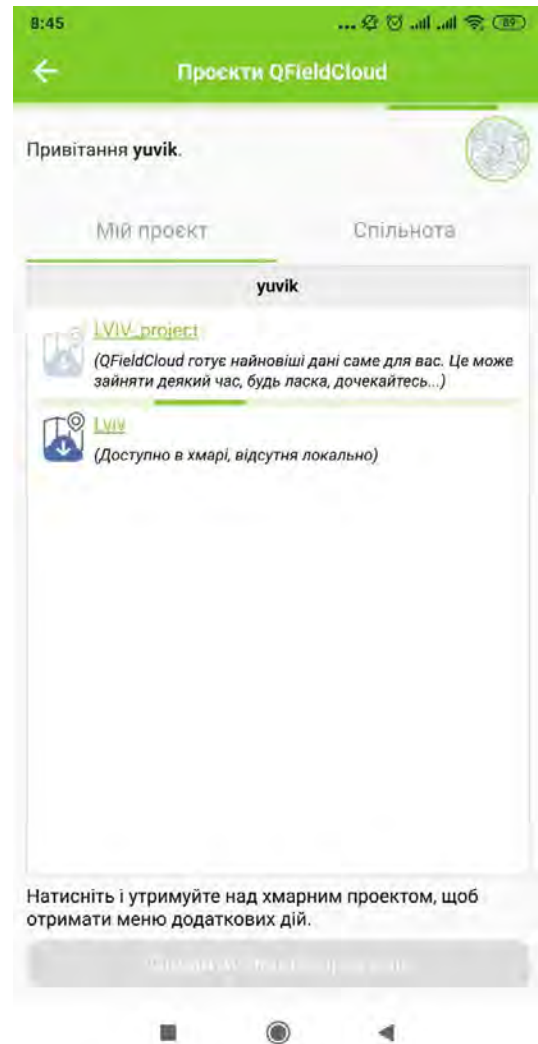


Рис. 10. Приклад синхронізації проекту Lviv_project (у межах м. Львів) у хмарному сховищі QFieldCloud

Обговорення результатів

QGIS є зручним програмним забезпеченням з прогресивним та динамічним розвитком, особливо в останнє десятиліття. Серед переваг QGIS є те, що це програмне забезпечення ефективно застосовують для зберігання, перегляду, редагування, відображення та аналізу різних типів геоданих, а також для вирішення низки завдань, пов'язаних з цифровим геологічним картуванням.

Ще однією особливістю і значною перевагою QGIS серед інших комерційних ГІС є те, що низка приватних організацій та фрілансерів в Україні та навіть за кордоном починають використовувати це програмне забезпечення для аналізу геоданих через його доступність та використання без ліцензії.

Використовуючи QGIS з відкритим кодом розробляють додаткові інструменти та створюють прості у використанні офлайн-модулі. Розробка офлайн-модулів у програмному забезпеченні з відкритим кодом рятує користувача від придбання дорогого програмного забезпечення. Перевагами QGIS з відкритим кодом є його автономність, можливість інтегруватися з різними інструментами для аналізу геоданих. Модулі є корисними для вирішення конкретних спеціальних завдань, оскільки більшість із них написані на мові Python, що сприяє внесенню поправок для покращення модулів у зв'язку з вдосконаленням та розвитком інформаційних технологій у світі для конкретної галузі в геології, геофізиці, екології та ін.

Висновок.

QGIS розширює можливості та функції геоінформаційних систем та технологій у науках про Землю завдяки використанню спеціалізованих зовнішніх модулів. QGIS містить низку інструментів та модулів, які на практиці вирішують складні проблеми у геології (оцифрування, візуалізація та геологічне картографування, структурний аналіз, побудова геологічних розрізів), геофізиці (різного типу геофізичні карти, нанесення профілів), екології (аналіз навколишнього середовища, рівня вод) та забезпечує 2D і 3D візуалізацію різнотипних комплексних геоданих у різних галузях наук про Землю. Серед них модулі – Georeferencer GDAL, GarminCustomMap, Profile Tool, VoGIS-ProfilTool, qProf, qgSurf, Stereonet, qgis2web, додаток QField – надають широкі можливості для візуалізації та редагування растрових та векторних даних, цифрових моделей висот (DEM), інтегруючи їх з Інтернетом для вирішення завдань цифрового геологічного картування та аналізу геоданих у науках про Землю.

Список літератури

1. Clarke K.C. Advances in geographic information systems. *Computers, environment and urban systems*. 1986. Vol. 10, No 3-4. P. 175-184.
2. Cavallini P., Lami L. Free GIS desktop and analyses: QuantumGIS, the easy way. *The Global Geospatial Magazine*. 2007.
3. Maliene V., Grigonis V., Palevičius V., Griffiths S. Geographic information system: Old

principles with new capabilities. *Urban Design International*. 2011. 16(1). P. 1–6.

4. Soller D.R.. Introduction to Geologic Mapping. *McGraw-Hill Yearbook of Science & Technology*. 2004. P. 128-130.

5. Alshaghdari M. H. Geological mapping using open source QGIS. Unpublished [Internet]. – 2017.

6. De Donatis M, Alberti M, Cesarini C, Menichetti M, Susini S. Open source GIS for geological field mapping: research and teaching experience [Internet]. *PeerJ Preprints*. 2016.

7. Download QGIS for your platform. <https://qgis.org/en/site/forusers/download.html#>

8. Sherman G. E., Sutton, T., Blazek R., & Luthman L. Quantum GIS User Guide. Building mapping applications with QGIS [Internet], 2004.

9. QGIS Official Website. A Free and Open Source Geographic Information System. <https://qgis.org/en/site/>

10. Quantum GIS User Guide. https://docs.qgis.org/3.22/en/docs/user_manual/

11. QGIS Python Plugins Repository. <http://plugins.qgis.org/plugins/>

12. Alberti M. GIS analysis of geological surfaces orientations: the qgSurf plugin for QGIS [Internet]. *PeerJ Preprints*. 2019.

13. Alberti M., Laloux M., Zanieri M. Tools for structural geology analysis in QGIS. *Soc. Geol. It.* 2016. Vol. 39. P. 55-59.

14. N. J. Hardebol, G. Bertotti. DigiFract: A software and data model implementation for flexible acquisition and processing of fracture data from outcrops. *Computers & Geosciences*. 2013. Vol. 54. P. 326-336.

15. De Donatis M., Pappafico G. F., Romeo R. W. A Field Data Acquisition Method and Tools for Hazard Evaluation of Earthquake-Induced Landslides with Open Source Mobile GIS. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2019. 8(2). P. 91.

16. Erharter G.H., Palzer-Khomenko M. DiGeo: Introduction and a new tutorial to geological maps with QGIS 3. X. *Austrian Journal of Earth Sciences*. 2018. 111(2), P. 223-224.

17. Get started with QField and QFieldCloud. https://docs.qfield.org/get-started/#_tabbed_1_1

References

1. Clarke K.C. (1986). Advances in geographic information systems. *Computers, environment and urban systems*. 1986. Vol. 10, No 3-4. P. 175-184.
2. Cavallini P., Lami L. (2007). Free GIS desktop and analyses: QuantumGIS, the easy way. *The Global Geospatial Magazine*. 2007.
3. Maliene V., Grigonis V., Palevičius V., Griffiths S.(2011). Geographic information system: Old principles with new capabilities. *Urban Design International*. 2011. 16(1). P. 1–6.
4. Soller D.R. (2004). Introduction to Geologic Mapping. *McGraw-Hill Yearbook of Science & Technology*. 2004. P. 128-130.
5. Alshaghdari M. H. Geological mapping using open source QGIS. Unpublished [Internet]. – 2017.
6. De Donatis M, Alberti M, Cesarini C, Menichetti M, Susini S. (2016). Open source GIS for geological field mapping: research and teaching experience [Internet]. *PeerJ Preprints*. 2016.
7. Download QGIS for your platform. <https://qgis.org/en/site/forusers/download.html#>

8. Sherman G. E., Sutton, T., Blazek R., & Luthman L. Quantum GIS User Guide. Building mapping applications with QGIS [Internet], 2004.

9. QGIS Official Website. A Free and Open Source Geographic Information System. <https://qgis.org/en/site/>

10. Quantum GIS User Guide. https://docs.qgis.org/3.22/en/docs/user_manual/

11. QGIS Python Plugins Repository. <http://plugins.qgis.org/plugins/>

12. Alberti M. GIS analysis of geological surfaces orientations: the qgSurf plugin for QGIS [Internet]. *PeerJ Preprints*. 2019.

13. Alberti M., Laloux M., Zanieri M. (2016). Tools for structural geology analysis in QGIS. *Soc. Geol. It.* 2016. Vol. 39. P. 55-59.

14. N. J. Hardebol, G. Bertotti. (2013). DigiFract: A software and data model implementation for flexible

acquisition and processing of fracture data from outcrops. *Computers & Geosciences*. 2013. Vol. 54. P. 326-336.

15. De Donatis M., Pappafico G. F., Romeo R. W. (2019). A Field Data Acquisition Method and Tools for Hazard Evaluation of Earthquake-Induced Landslides with Open Source Mobile GIS. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2019. 8(2). P. 91.

16. Erharter G.H., Palzer-Khomenko M. (2018). DiGeo: Introduction and a new tutorial to geological maps with QGIS 3. X. *Austrian Journal of Earth Sciences*. 2018. 111(2), P. 223-224.

17. Get started with QField and QFieldCloud. https://docs.qfield.org/get-started/#_tabbed_1_1

Надійшла до редакції 19.11.2022

Віхоть Юрій Михайлович – кандидат геологічних наук, доцент кафедри «Геологія корисних копалин і геофізики» Львівського національного університету імені Івана Франка, (м. Львів, Україна), доцент кафедри «Інженерна геодезія» Національного університету «Львівська політехніка», (м. Львів, Україна).

E-mail: yuvik@ukr.net; yuriy.vikhot@lnu.edu.ua

Кріль Соломія Ярославівна – кандидат геологічних наук, асистент кафедри «Екологічної та інженерної геології і гідрогеології» Львівського національного університету імені Івана Франка, (м. Львів, Україна).

E-mail: solia_kr@ukr.net; solomiia.krill@lnu.edu.ua

Бубняк Ігор Миколайович – кандидат геологічних наук, доцент кафедри «Інженерна геодезія» Національного університету «Львівська політехніка», (м. Львів, Україна).

E-mail: igor.m.bubniak@lpnu.ua

DIGITAL GEOLOGICAL MAPPING AND GEODATA ANALYSIS USING TOOLS AND PLUGINS OF QGIS

Purpose. The article aims to demonstrate the possibilities, methods and advantages of using Quantum GIS (QGIS) plugins and mobile applications for digital geological mapping, input and primary analysis of field geodata in Earth Sciences - Structural Geology, Engineering Geology, Hydrogeology, Ecology, Geophysics, etc.

Methodology. The most important tools and plugins of QGIS, an open source GIS program, that works on the most widespread platforms - Windows, MacOS X, Linux and applications on Android, iOS for digital mapping, structural geodata analysis, and visualization are used.

Results. The most important tools and plugins of QGIS (Georeferencer GDAL, GarminCustomMap, Profile Tool, VoGIS-ProfilTool, qProf, qgSurf, Stereonet, qgis2web, and QField mobile application) are analyzed. Their using for digital geological mapping, input and analysis of structural and other geodata, construction of 2D topographic profiles, visualization of geodata in web browsers are briefly described.

Scientific novelty. Tools and plugins of QGIS, which are necessary for certain purposes for working with various types of data on geological maps, their analysis, and construction of geological and geophysical profiles are defined. QGIS software applications allow to add new plugins, create your own notations for digital mapping that can be used to solve specific geological tasks and analyze geospatial and geological data, or add ready-made specialized geological notations according to geological standards.

Practical significance. Complex using of basic, additional external plugins of QGIS and specialized geological markings contributes to effective field digital mapping, modern visualization of various types of geological maps with spatial reference, creation of new digital electronic and complex demonstration maps for printing and visualization in web browsers, construction topographic and geological 2D profiles, GIS analysis of structural geodata, slope analysis, etc. Data obtained in QGIS can be imported into such specialized programs as Petrel Exploration & Production Software Platform (Shlumberger), MOVE Software (Midland Valley), etc.

Keywords: Quantum GIS or QGIS, QGIS tools and plugins, digital geological mapping, QField, GIS analysis of structural geodata, slope analysis.

Vikhot Yuriy – Candidate of Geological Sciences, Associate Professor of the Department of Geology of Mineral Resources and Geophysics, Ivan Franko National University of Lviv, (Lviv, Ukraine); Associate Professor of the Department of Engineering Geodesy, Lviv Polytechnic National University, (Lviv, Ukraine).

E-mail: yuvik@ukr.net; yuriy.vikhot@lnu.edu.ua

Krill Solomiia – Candidate of Geological Sciences, Professor Assistant, Department of Ecological and Engineering Geology and Hydrogeology, Ivan Franko National University of Lviv, (Lviv, Ukraine).

E-mail: solia_kr@ukr.net; solomiia.krill@lnu.edu.ua

Bubniak Ihor - Candidate of Geological Sciences, Associate Professor of the Department of Engineering Geodesy, Lviv Polytechnic National University, (Lviv, Ukraine).

E-mail: igor.m.bubniak@lpnu.ua