

УДК 551.4

Г. Р. БАЙРАК<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Кафедра геоморфології і палеогеографії, географічний факультет, Львівський національний університет імені Івана Франка, вул. Дорошенка, 41, Львів, Україна, 79000. Ел. пошта g\_bajrak@ukr.net

## ВИДІЛЕННЯ ТА АНАЛІЗ ОРОЛІНЕАМЕНТІВ ВИСОЧИНИ ОПІЛЛЯ НА ОСНОВІ 3D-МОДЕЛІ РЕЛЬЄФУ

**Мета роботи** – на основі 3d-моделі рельєфу, виконаної у ГІС, виділити орографічні лінеamenti височини Опілля. **Методика.** Для побудови дрібномасштабних 3d-моделей рельєфу на територію Опілля використано дані американської місії SRTM. Для побудови великомасштабних 3d-моделей виконали оцифрування горизонталей топографічної карти (1:50 000). **Результати.** Виявлено добре і слабо виражені у рельєфі лінеamenti. Їх утворюють прямі ділянки долин рік, ерозійних форм, круті відрізки схилів, брівки вершинних поверхонь, лінійно впорядковані вершини пагорбів. Виділені лінеamenti за чіткістю вираження у рельєфі й протяжністю поділено на три порядки. Встановлено головні напрями простягання лінеamentів різних порядків. Для лінеamentів першого порядку характерне субмеридіональне (355°) і діагональне (300 і 70°), другого порядку – субмеридіональне (355°) і субширотне (285°) простягання, третього порядку – субширотний напрям (280–290°). Для височини Опілля напрями простягання різнорангових лінеamentів узгоджені із загальною тектонічною тріщинуватістю території. Досліджено також зв'язок щільності лінеamentів із неотектонічною активністю регіону. У периферійних зонах активних піднять виникають великі напруги в земній корі за рахунок розташування їх на межі блоків з різною тектонічною активністю і тиском один на одного. У нашому прикладі – активного Опільського і менш активних Тернопільського і Малополіського, а також Опільського й активнішого Придністерського структурних блоків. Для цих зон значних напружень характерна підвищена тріщинуватість порід, яка виражається на поверхні густішою щільністю оролінеamentів. У центральній частині тектонічних блоків відбувається зниження напруг за рахунок рівномірнішого розподілу тиску всередині структури. Такі ділянки відповідно індикує незначна тріщинуватість і мала густина лінеamentів. Більша густина лінеamentів пов'язана також із зонами дії розломів значної та помірної неотектонічної активності. **Новизна.** Вперше для височини Опілля на основі 3d-моделі рельєфу виділено лінеamenti, досліджено їхні прояви у рельєфі, за їх вираженістю у рельєфі й протяжністю поділено на порядки, обчислено показники щільності лінеamentів. **Практичне значення.** На основі лінеamentного аналізу можна прогнозувати міграції вуглеводнів у земній корі, виявляти передбачувані місця їх скупчення. Він перспективний також для пошуків підземних вод для питтєвих, побутових і лікувальних потреб.

**Ключові слова:** лінеamentна тектоніка; орографічні лінеamenti; 3d-модель рельєфу в ГІС; ранжування лінеamentів; напрями простягання; щільність лінеamentів.

**Актуальність.** З появою геоінформаційних систем (ГІС) та можливості створення віртуального тривимірного зображення рельєфу виникають нові аспекти досліджень вираженості тектонічних структур в особливостях геоморфосфери. Морфологія рельєфу стає індикатором розривних порушень, а також характеру неотектонічної та сучасної активності розломів. Можливості геоморфологічних ознак різко зростають зі збільшенням аналітичних і моделювальних функцій ГІС. Це особливо актуально в умовах виникнення нових запитів у сфері лінеamentної тектоніки та геодинаміки.

Лінеamentний аналіз сьогодні широко використовують для уточнення геологічної будови регіонів, виділення геодинамічно активних зон, з'ясування границь нафтогазоносних басейнів, реконструкції та аналізу регіональних новітніх полів напружень з метою прогнозування зон підвищених флюїдопровідних і колекторських

властивостей. Важливими аспектами досліджень лінеamentно-розломної структури є прогнозування тріщинних мінеральних і термальних вод, а також виявлення металоносності, зокрема рудопроявів целестину, цинку, плюмбуму, флюориту тощо. Із лінеamentними зонами пов'язують вогнища землетрусів, які концентруються вздовж осей лінеamentів та у їхніх вузлах перетину. Тому лінеamentний аналіз сьогодні розглядають як суттєве доповнення регіональних геологічних і геодинамічних пошукувань.

**Аналіз останніх досліджень.** Термін «лінеament» увів в науку американський геолог Вільям Хоббс ще в 1911 р. Згідно з його уявленнями, лінеamentом виступає елементарна лінія різкої зміни параметрів географічного, геологічного і геофізичного середовищ [Hung L. Q., 2005]. Дослідженнями лінеamentної будови в різні роки минулого століття займалися вітчизняні та іноземні вчені. За генезисом виділено: 1) лінеamenti

географічного середовища: топо-, бати-, фото-, космолінеamenti; 2) лінеamenti геологічної структури: гео-, тектоно-, метало-, гідролінеamenti; 3) лінеamenti геофізичних та інших полів: магніто-, граві-, сейсмо-, термолінеamenti [Кац Я. Г., 1986].

У 80-ті роки минулого століття набуло поширення вивчення лінеamentів на основі інтерпретації космоматеріалів. На космофотознімках *лінеamenti* (від лат. *lineamentum* – лінія) – це лінійні елементи зображення, що відповідають на місцевості прямолінійним чи злегка вигнутим об'єктам земної кори, які відображають її різномасштабні, різночасові й різноглибинні неоднорідності [Байрак Г. Р., 2010]. Важливість вивчення лінеamentів полягає в тому, що з ними пов'язують розподіл корисних копалини і сейсмічних явищ на земній поверхні. Лінеamenti можуть прямо відповідати розломам або бути непрямим відбиттям похованого розлому і на поверхні не проявлятися. Вони також можуть бути поверхневим “слідом” похованих геологічних контактів, границь і лінійних утворень іншого роду, що не належать до категорії розривних. На фотографічних знімках ознаками інтерпретації лінеamentів є здебільшого лінійні аномалії фототону чи малюнка зображення [Байрак Г. Р., 1994].

У результаті різнопланових досліджень минулих років виконано класифікації лінеamentів за розмірами, протяжністю (локальні, регіональні, трансрегіональні, глобальні), глибинністю закладання (приповерхневі та глибинні, верхньокорові, нижньокорові або корові, верхньомантіїні), співвідношенням зі структурними елементами [Гофштейн И. Д.; 1989, Космогеологічна, 1982; Casas A. M., 2000; Mishra D. S., 2001]. Також встановлено різниці лінеamentних зон за ступенем щільності (густоти), характером їхньої впорядкованості, доміантними і пригнобленими простяганнями, просторовим розташуванням окремих елементів, взаємовідношенням лінеamentів тощо [Арістов М. В., 2002; Kocal A., 2012; Ozimkowski W., 2008]. Проведені дослідження, напрацьовано багатий матеріал у галузі космофотолінеamentної індикації, на основі якої виявлено різноманітні тектонічні розриви.

Застосування останніми роками програми WinLESSA, яка виконує автоматизований аналіз лінійних елементів космічних зображень, дещо зменшило частку суб'єктивності у виділеннях лінеamentів, дало змогу доповнити схеми лінеamentного рисунка окремих регіонів.

Для території України з початку ХХІ ст. здійснено декілька побудов лінеamentних систем окремих регіонів з використанням головно даних дистанційного зондування. Наприклад, відомі побудови В. Верховцева для Українського кристалічного щита, О. Азімова, Б. Бусигіна – для Дніпрово-Донецької западини, О. Гінтова –

Волино-Поділля, М. Арістова – Поділля, А. Бубняка, Р. Гнатюка – Розточчя. Подальше оброблення цих схем з їхньою геолого-геофізичною інтерпретацією дало змогу оновити карти розломно-блокової тектоніки цих територій та, в деяких випадках, оцінити перспективність на наявність корисних копалин.

З появою 3d-візуалізацій рельєфу в ГІС виникли нові можливості виявлення диз'юнктивних структур за морфологією рельєфу. Такими морфологічними одиницями є прямолінійні відрізки долин рік, ярково-балкових форм, денудаційних уступів, вододілів, брівок вершинних поверхонь, лінійно орієнтовані вершини пагорбів. Системи лінеamentів, виділені на основі лінійного впорядкування елементів і форм рельєфу, означаємо як *оролінеamenti*. У середовищі ArcGIS відтворюють рельєф «у чистому вигляді» без накладання на нього деталей ландшафту, доріг, будівель тощо. Це дає змогу виокремлювати саме форми та елементи рельєфу лінійного впорядкування без об'єктів природного чи антропогенного характеру.

### Мета

*Мета роботи* – на основі 3d-моделі рельєфу, виконаної у ГІС, виділити орографічні лінеamenti височини Опілля, дослідити їхні характеристики та співвідношення з диз'юнктивними структурами.

Для підтвердження тектонічного походження лінеamentу застосовують сукупність ознак, з яких головними є геофізичні, сейсмологічні, геоморфологічні, структурні, седиментаційні [Смішко Р. М., 2010].

### Методика

Для побудови дрібномасштабних 3d-моделей рельєфу на територію Опілля використано дані американської місії SRTM. Shuttle radar topographic mission (SRTM) – радарне топографічне знімання більшої частини поверхні земної кулі без північних (>60°) і південних широт (>54°), здійснене в лютому 2000 р. Знімання проведене методом радіолокаційної інтерферометрії (radar interferometry) двома сенсорами радара SIR-C (роздільна здатність 60 м) і X-SAR (розрізнення 30 м). Отримані із мережі Інтернет дані SRTM перетворено у програмі ArcView GIS-3.2a з числового вираження у графічний формат. Після автоматичного перерахунку значень у програмі ArcGIS створено об'ємну модель рельєфу методом TIN (Triangular Irregular Network). Це один зі способів побудови рельєфу, що ґрунтується на інтерполяції оцифрованих ізолій висот у мережу неправильних трикутників. На відміну від растрового представлення поверхні, TIN-модель краще відображає різкі обриси рельєфу, його структурні лінії. Для

кращої візуалізації обрисів побудували 3d-модель рельєфу в модулі ArcScene.

Здійснено також детальніші великомасштабні дослідження, які передбачали оцифрування горизонталей попередньо відібраної топооснови (1:50 000) в електронному вигляді. Після побудови різномасштабних об'ємних моделей рельєфу, в яких у програмному середовищі підкреслено їхні морфологічні особливості, виділили різні за довжиною оролінеamenti.

*Виклад основного матеріалу.* В тектонічному плані височині Опілля відповідає частина Волино-Подільської плити, що являє собою занурений під палеозойські відклади західний схил Українського кристалічного масиву. Тектонічні рухи протягом своєї еволюції відігравали помітну роль у формуванні рельєфу Опілля. Розривні порушення безпосередньо й опосередковано спричинили формування визначних прикорайових і внутрішніх уступів у межах височини Опілля, зумовили типову будову його рельєфу, визначили морфологію річкових долин. Опілля є власне тією зоною Волино-Подільської плити, де наявні ділянки аномальної густоти розривних порушень різного віку, орієнтації та глибини закладання. Ці порушення великою мірою виражені на поверхні у структурному рельєфі височини. Звідси і впливають якісні можливості опрацювання ділянок рельєфу з погляду його інформативності щодо глибинних лінійних структур за допомогою ГІС.

Після побудови об'ємної дрібномасштабної моделі рельєфу Опілля в ArcScene ми виділили мережу лінеаментів (рис. 1). Протяжні лінеamenti виражені спрямленими долинами рік 3–4 порядків. Вони проявлені відрізкама прямолінійного простягання долин таких рік: р. Давидівка – від с. Підмонастир до с. Великі Глібовичі, завдовжки 8,5 км; р. Свірж – на відтинку між селами Задубина – Плоска – Підбір'я, загальною протяжністю до 15 км; р. Гнила Липа – с. Перемишляни – Липівка – Рогатин, протяжністю 30 км; потік Студений – с. Подусільна – Пуків (14 км); р. Нараївка – на відтинках с. Рогачин – Демня (9 км), с. Підвисоке – Підшумлянці (12,5 км), с. Н. Скоморохи – Більшівці (7,5 км), загальною протяжністю 29 км; р. Золота Липа – с. Лапшин – Литвинів (24 км).

Деякі із зазначених лінеаментів відповідають зонам регіональних тектонічних порушень, глибиною закладання 4,8–6,2 км [Круглов С. С., 1985]. Це Радехів-Рогатинський, Рава-Руський, Перемишлянсько-Монастирський розломи. Інші – локальним (Жовківсько-Борщовицький, Зашківсько-Водниківський, Крехівський) та місцевим (Стрийсько-Перемишлянський, Бережанський) розривам.

Глибинні розломи часто є границями тектонічних блоків. Так, Перемишлянсько-Монастирський розлом розмежовує більш підвищений блок

Перемишлянсько-Бережанського і понижене Придністерське Опілля. Жовківсько-Борщовицький розлом відділяє Стільсько-Бібрське і Придністерське Опілля. Вони здебільшого виражені у рельєфі уступами схилів чи ланцюгами вищих пагорбів. Радехів-Рогатинський розлом є границею між Бережанським і Перемишлянським Опіллям.

У результаті досліджень проявів у рельєфі лінеаментів тектонічного походження виділили такі: а) добре виражені у рельєфі, тобто з помітною тривалою смугою лінійної аномалії. Її підкреслюють протяжні прямолінійні відрізки долин середніх і малих рік, денудаційних уступів. Виявляються також як границі рельєфу з різним характером розчленування; б) слабо виражені – з вузькими зонами лінійної за формою аномалії. Її формують як короткі лінійні відрізки долинних форм, так і лінійно зорієнтовані уступи чи вершини пагорбів.

До добре виражених у рельєфі розривних порушень належать такі:

Радехів-Рогатинський скид проявляється значною припіднятістю вододільних поверхонь на межиріччі Тури (притоки Гнилої Липи) та Гнилої Липи, де висота найвищої точки 463,7 м, зону розриву успадкувала широка пряма долина р. Гнила Липа;

Рава-Руський розлом на досліджуваній території простежується у вигляді денудаційного уступу між Придністерським Опіллям і Верхньодністерською улоговиною;

Перемишлянсько-Монастирський розлом проявляється у більших абсолютних висотах вододільних ділянок р. Свірж та р. Струга (права притока р. Гнила Липа), де вони сягають відмітки 370–400 м;

Стрийсько-Перемишлянський розлом має вираження у підвищеннях ділянок вододілу між р. Колодниця та притокою р. Барвінка – Іловець до 360–390 м (на ділянці переважають висоти 290–320 м). Чітко простежений у вигляді денудаційного уступу між Стільсько-Бібрським і Придністерським Опіллям;

Бережанський розлом добре виражений прямим відрізком долини р. Золота Липа.

Слабо вираженими у рельєфі розривними порушеннями є такі:

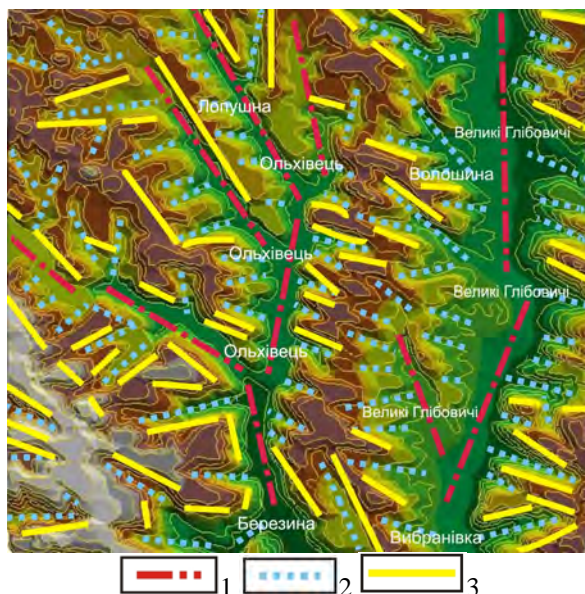
Жовківсько-Борщовицький розлом відображається прямими відрізкама приток рік Гнилої Липи (р. Болотня, р. Осталовська) та Золотої Липи (р. Біла, р. Вербовець). Також його трасування підкреслюють окремі вершини пагорбів з домінуванням висот 380–400 м між р. Гнила Липа і р. Нараївка та 400–420 м на міжрічкових поверхнях басейну р. Золота Липа; Зашківсько-Водниківський та Крехівський розломи виявляються за прямими долинами приток р. Гнила Липа (р. Залож, р. Бабухів) і переважаючим абсолютних відміток пагорбів 280–300 м.



**Рис. 1.** Лінементи Опілля, виділені на 3d-моделі рельєфу. Масштаб 1:200 000: умовні позначення: 1 – лінементи 1-го порядку, що відповідають тектонічним лініям; оролінементи: 2 – 2-го порядку, 3 – 3-го порядку. Цифри 1–6 на рисунку – номери лінементних вузлі

**Fig. 1.** Lineaments of Opilla allocated for 3d-models of relief. Scale 1:200 000

в



**Рис. 2.** Лінементи ключової ділянки Опілля. Масштаб 1:50 000:

лінементи виражені: 1 – долинами середніх рік, 2 – ярково-балковими формами, 3 – денудаційними уступами і брівками привершинних поверхонь

**Fig. 2.** Lineaments of the key areas of Opilla. Scale 1:50 000

Названі тектонічні порушення геологи виділили на картах та описали в літературі [Бень Я. М., 2006; Знаменская Т. А., 1985; Круглов С. С., 1985; Тектонічна, 2007]. Проте багато розривів не зафіксовані геофізичними приладами, але певні обриси рельєфу можуть вказувати на наявність лінійних структур. Це короткі прямолінійні відрізки річкових долин, ланцюги одновисотних пагорбів, прямі ділянки крутих схилів тривалого простягання. Ми виділяємо більше ніж десяток лінементів, які формують морфологічні особливості рельєфу. Вони можуть бути індикаторами приповерхневих розривних порушень, тектонічних тріщин.

На височині Опілля виділяємо кілька малих дугоподібних лінементів, які є межами передбачуваних кільцевих структур. У межах Березанського тектонічного блока розташовані три структури: найбільша і найкраще виражена Поморнянська, діаметром 6 км; Жуківська (на північ від м. Березани, 0,8 км) і Рекшинська (на північний захід від м. Березани, 3,4 км). У Перемишлянському блоці – дві структури: на півночі Перемишлянська (виділене її північно-західне крило, радіусом 3 км) і Пуківська на півдні, діаметром 5,6 км. На Бібрському Опіллі – Бібрське півкільце, радіусом 2,8 км. Дугоподібні лінементи здебільшого опіряють зони перетину низькорангових лінійних структур.

Наступним етапом наших досліджень були великомасштабні пошукування. За ключову ділянку досліджень вибрано територію в межах басейну р. Давидівка, як найбільш розчленовану в ерозійному плані на Опілля. Оцифровано горизонталі й побудовано об'ємну модель рельєфу, на основі якої проаналізовано характер лінеаментів (рис. 2).

Лінеаменти в межах ключової ділянки мають характерне успадковане простягання, як і лінії на всій височині Опілля. У цьому масштабі спостерігаємо лінійні відрізки ярів, балок, невеликих долин рік, чіткі брівки привершинних поверхонь, уступи та прямі ділянки крутих схилів. Вони заклалися в зонах підвищеної тріщинуватості порід і стали виразнішими під дією денудаційних та ерозійних процесів.

У верхній течії р. Давидівка, на межиріччі між населеними пунктами Ольховець та Лопушна, простежуємо лінеаменти, виражені денудаційними уступами субмеридіонального простягання. Паралельно до них закладені лінійні відрізки долин. Всі вони відповідають тектонічним порушенням глибинного закладання зокрема, Рава-Руському і Зашківсько-Водниківському зонам розломів.

Морфологічні особливості рельєфу, представлені на 3d-моделях, вказують також на кінематику розривів на Опілля [Гинтов О. Б., 2004]. Згідно з геоморфологічними ознаками виділення обстановок інтенсивного геодинамічного розтягу [Азімов О. Т., 2010], широкі долини лінійного простягання із крутими схилами, якими є долини рік Гнила Липа, Давидівка (с. В. Глібовичі), є індикаторами переважного розвитку напруг тектонічного розтягнення, тоді як вузькі долини, наприклад, як у рік Свірж, Суходілки (с. Ольховець), вказують на наявність зони стиснення (рис. 3).



**Рис. 3.** Структурно зумовлений борт долини р. Свірж як індикатор тектонічного скиду (околиці с. Фрага Рогатинського району Івано-Франківської обл.)

**Fig. 3.** Structural conditioned side valley of the river Svirz as an indicator of tectonic reset

Виділені на 3d-моделях рельєфу лінеаменти залежно від чіткості вираження у рельєфі й протяжності поділено за ієрархією. Лінеаменти першого порядку на Опілля мають протяжність 20–200 км, виражені прямими долинами рік, урвистими схилами, ланцюгами вершин на значних проміжках. Вони відображають фраг-

менти регіональних розломів та локальні й місцеві розломи. Лінеаменти другого порядку – завдовжки 3–20 км виявлені у рельєфі рівними долинами малих рік, іноді денудаційними уступами. Вони можуть відповідати тектонічним тріщинам, пов'язаним із високими градієнтами середніх швидкостей неотектонічних рухів регіону [Палієнко В. П., 1992]. Лінеаменти третього порядку – це короткі (0,5–3 км) відрізки малих долин, прямі ярково-балкові форми, крутосхилів ділянки ряду пагорбів, які вказують на дрібну тріщинуватість порід, зумовлену тектонічною активністю в неоген-четвертинний період (рис. 4).

Лінеаменти різних порядків, виділені на основі дрібномасштабних (див. рис. 1) і великомасштабних моделей (див. рис. 2), ми також впорядкували за напрямками, яку відображають розидіаграми:

– для лінеаментів першого порядку характерне переважно діагональне ( $310^\circ$  і  $70^\circ$ ) та субмеридіональне ( $355^\circ$ ) орієнтування (рис. 5, а), що відображають ранньодокембрійську діагональну систему глибинних порушень Розтоцько-Опільської розломної зони та рифейську ортогональну систему розломів підпорядкованого значення, активізовану в середньому палеозої [Знаменская Т. А., 1985; Круглов С. С., 1985];

– лінеаментам другого порядку притаманне субмеридіональне ( $355^\circ$ ) і субширотне ( $285^\circ$ ) простягання, що вказує на поширення систем-розривів і тріщин під час неотектонічної активності регіону (рис. 5, б).

– у лінеаментів третього порядку домінує субширотне орієнтування ( $280^\circ$ – $290^\circ$ ), відображене прямолінійними морфологічними елементами рельєфу як наслідок структурної обумовленості рельєфу Опілля (рис. 5, в). Субширотне орієнтування характерне для більшості невеликих денудаційних уступів міжрічкових пагорбів, які створюють характерну широтну зональність рельєфу Опілля [Караваєв В. Я., 1987].

Порівнюючи отримані значення напрямів головних лінеаментів, виділених на 3d-моделі рельєфу, зауважуємо їх узгодженість з орієнтуванням розломів та лінеаментів Волино-Поділля, яке встановили різні автори [Свинко Й., 2001; Верховцев В. Г., 2012]. Деяку незбіжність (наприклад, у В. Верховцева Радехів-Рогатинський розлом має азимут  $0^\circ$ – $2^\circ$ , тоді як у наших дослідженнях –  $355^\circ$ ) пояснюємо слабкою прив'язаністю зображуваних на геологічних картосхемах ліній розломів до їхньої вираженості у рельєфі, а також тим, що в межах загальної траси розлому можуть міститися фрагменти з відхиленням у  $\pm 5^\circ$ .

Отже, у напрямках простягання лінеаментів першого порядку проявилася давня система тектонічних порушень, неодноразово активізованих у пізніші періоди геологічної історії, тоді як дрібні лінеаменти пов'язані із неотектонічним етапом розвитку регіону.

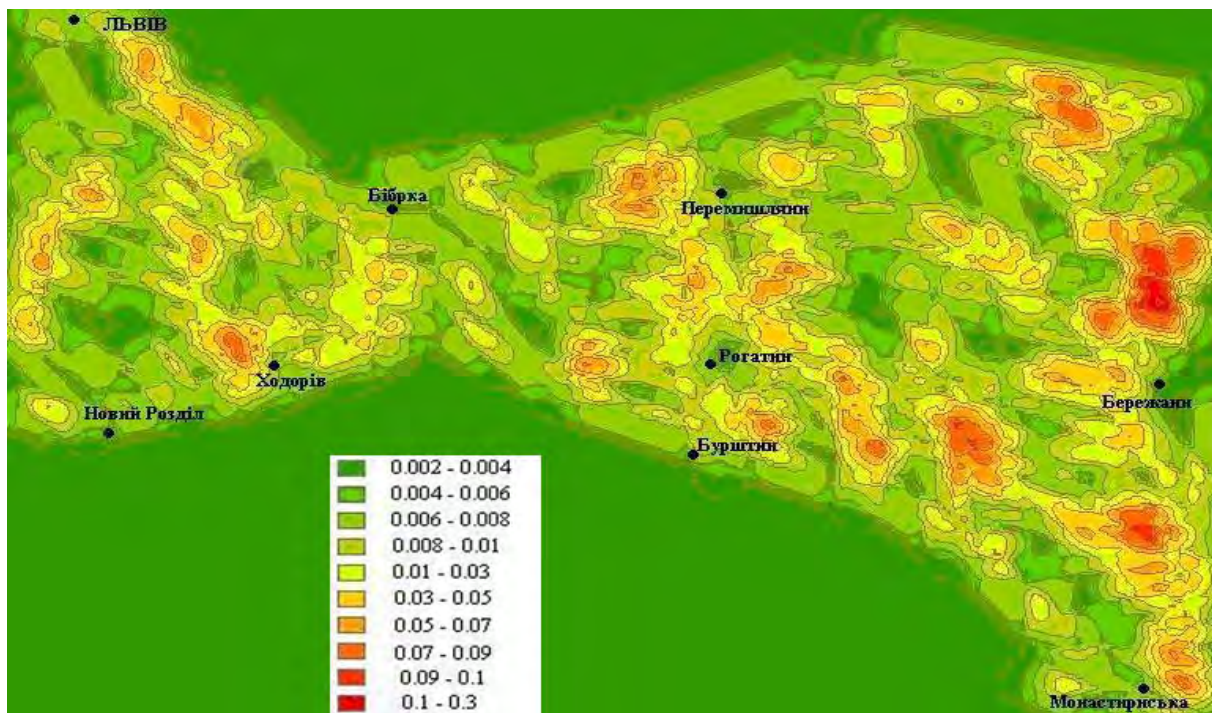


Лінеamenti різного простягання, перетинаючись, утворюють лінеаментні вузли. На Опіллі виділяємо кілька головних вузлів: 1) Перемишлянський у зоні перетину Радехів-Рогатинського, Перемишлянсько-Монастирського і Стрийсько-Перемишлянського розломів; 2) Любешківський на перетині Жовківсько-Борщовицького, Стрийсько-Перемишлянського і лінії Бердо-Нароль; 3) Шумлянський (басейн р. Бібелька) – вузол перетину Перемишлянсько-Монастирського розлому, Бердо-Нароль та лінеаментів низьких порядків; 4) Бориничівський (на р. Давидівка) як місце перетину Стрийсько-Перемишлянського і Крехівського розломів та лінеаменту другого порядку; 5) Н. Розділ – перетин Рава-Руського і Стрийсько-Перемишлянського розломів; 6) вузол поблизу с. Руда на р. Гнила Липа на перетині Радехів-Рогатинського розлому, Бердо-Нароль і кількох дрібних лінеаментів. Місця перетину різноорієнтованих і різноглибинних лінеаментів стають ослабленими зонами, вздовж яких фільтруються глибинні розчини. Це може призводити до утворення рудних корисних копалин, а лінеаментні вузли стають індикаторами таких родовищ. З лінеаментними вузлами пов'язані також зони живлення і розвантаження підземних вод.

Одним із головних факторів взаємозалежності тектонічних структур з елементами рельєфу є також зв'язок густоти загальної тріщинуватості з тектонічною активністю Опілля. Припускаємо, що більше тріщин, виражених оролінеаментами, утворюється в зонах активних посувань. Щоб підтвердити це положення, ми побудували карту щільності лінеаментів та здійснили її аналіз із

картою сумарних амплітуд рельєфотвірних рухів земної кори, схемою середніх градієнтів швидкостей неотектонічних рухів [Палиєнко В. П., 1992] та схемою неотектонічних піднять регіону [Гофштейн І. Д., 1979] (рис. 6). Побудову картосхеми щільності лінеаментів Опілля здійснено на основі оцифрованих лінеаментів у масштабі 1:200 000, за допомогою додатка Line Density модуля Spatial Analyst програми ArcGis. Аналізуючи картосхему щільності лінеаментів, зауважуємо таке: максимальні значення щільності припадають на тектонічний блок Бережанського і Стільського (Ходорівського) Опілля, де значення відповідно сягають 0,07–0,3 км/км<sup>2</sup>; середні значення щільності припадають на тектонічний блок Перемишлянського Опілля, зокрема, на ділянках між р. Гнила Липа та р. Свірж, значення відповідно коливаються від 0,03 до 0,07 км/км<sup>2</sup>; найменша щільність лінеаментів у тектонічному блоці Бібрського Опілля, де значення щільності коливаються у межах 0,008–0,03 км/км<sup>2</sup>.

З позицій геодинаміки ми порівняли виділені зони підвищеної щільності лінеаментів із зонами градієнтів середніх швидкостей та амплітуд неотектонічних рухів. Максимуми щільності лінеаментів (0,3 км/км<sup>2</sup>) спостерігаються на східних і південно-східних околицях Бережанського Опілля. Тут вони узгоджуються із характером ізобаз сумарних амплітуд рельєфотвірних рухів, які в післяранньоміоценовий час досягли максимуму 360 м над р.м. та із високими градієнтами середніх швидкостей неотектонічних рухів, що становили на східній периферії Опілля  $5-7 \cdot 10^{-6}$  см/(км/рік) [Палиєнко В. П., 1992].



**Рис. 6.** Щільність лінеаментів різних рангів у межах височини Опілля, км/км<sup>2</sup> (масштаб 1:200 000)  
**Fig. 6.** The density of lineaments different ranks within height Opilla in km/км<sup>2</sup> (scale 1: 200 000)

Більші за середнє значення щільності лінементів ( $0,08 \text{ км/км}^2$ ) відповідають таким самим високим градієнтам швидкостей неотектонічних рухів у північній частині Перемишлянського, південно-західній околиці Бережанського і західній частині Бібрського Опілля. Амплітуда підняття тут середня і становить 320–340 м. Смуга середніх значень щільності лінементів півдня Опілля повністю узгоджена з ізобазми зростання сумарних амплітуд підняття, які видовжені у північно-західно-південно-східному напрямі.

Малі значення щільності лінементів ( $0,005 \text{ км/км}^2$ ) узалежно від дещо нижчих градієнтів швидкостей неоген-четвертинних рухів земної кори ( $3\text{--}4 \cdot 10^{-6} \text{ см/(км/рік)}$ ) в окремих мікроблоках Опілля.

Виконані дослідження підтвердили припущення про взаємообумовленість тектонічної тріщинуватості та активності тектонічних рухів. У периферійних зонах блоків різного градієнта середніх швидкостей виникають більші напруження за рахунок посилення їхнього тиску один на одного. В нашому випадку – це околиці дуже активного Опільського і менш активного Тернопільського (градієнт середньої швидкості останнього  $1\text{--}2 \cdot 10^{-6} \text{ см/(км/рік)}$ ), Опільського і Малополіського ( $2\text{--}3 \cdot 10^{-6} \text{ см/(км/рік)}$ ), а також Опільського й активнішого Придністерського ( $4 \cdot 10^{-5} \text{ см/(км/рік)}$ ) структурних блоків. У цих зонах значних напружень більша тріщинуватість порід виражена на поверхні густішою щільністю оролінементів. У центральних частинах блоків однакового градієнта середніх швидкостей неотектонічних рухів напруги у земній корі знижуються, оскільки тиски всередині блоків зрівноважені й не такі великі, як на периферії. Такі ділянки відповідно індикує незначна тектонічна тріщинуватість і мала густина лінементів.

Дослідженнями встановлено також, що велика щільність лінементів простежується поблизу розривних зон значної та помірної активності [Палієнко В. П., 2009, Полівцев А. В., 2011]. Так, вздовж лінії Бердо-Нароль, Рава-Руського, Перемишлянсько-Монастирського і Бережанського розломів густина лінементів помітно збільшується. Вздовж розривів слабкої активності, яким є Радехів-Рогатинський та інші розломи, щільність лінементів незначна.

### **Наукова новизна**

Вперше для височини Опілля з використанням 3d-моделі рельєфу виділено оролінементи, досліджено їхні прояви у рельєфі, на основі вираженості у рельєфі та протяжності поділено за ієрархією, обчислено показники щільності лінементів.

### **Практичне значення**

Створені у ГІС 3d-моделі рельєфу відзначаються великою оглядовістю території, порівнюваністю ділянок різних масштабів, швидкістю

обробки даних. Метод аналізу орографічних лінементів у ГІС дає змогу отримувати хороші результати дослідних робіт на відомих родовищах, є найперспективнішим на першому етапі пошукових робіт на нафту і газ, передуючи сейсмічним роботам. Зокрема, у нафтовій геології по-новому можна прогнозувати міграції вуглеводнів у земній корі та виявляти передбачувані місця їх скупчення. Родовища покладів часто корелюють з місцями активізації тектонічних процесів і зміщуються у просторі відповідно до зміщення тектонічних процесів. На розміщення покладів вуглеводнів у осадовому чохла нафтогазоносних регіонів істотно впливає новітня та сучасна тектоніка. Неодноразово відновлюючись, тектонічні рухи сприяють вертикальній міграції глибинних флюїдів та їх проникненню у горизонти осадового чохла. Відповідно місця концентрації покладів нафти слід шукати на периферії більшості областей інтенсивного підняття.

Лінементи, яким відповідають розломні зони підвищеної проникності, є каналами вертикальної та горизонтальної міграції підземних вод. Лінементні вузли індикують зони поглинання чи розвантаження підземного стоку в річкову мережу. Тому лінементний аналіз використовують для прогнозів закладання водозаборів прирічкового типу, а за відсутності річкових систем – для формування водозаборів у кристалічних породах та в осадовому чохла.

*Перспективи досліджень.* Подальші дослідження доцільно скерувати на з'ясування природи виділених оролінементів з повторним проведенням цілеспрямованих геофізичних розвідок і побудовою спеціальних граві-, магніто- чи електропрофілів. Спільна геоінформаційна та геолого-геофізична інтерпретація результатів досліджень дасть змогу істотно зменшити затрати на виконання прогнозів і намітити місця розташування свердловин для проведення детальніших пошукових робіт.

### **Висновки**

3d-модель рельєфу, побудована в ГІС, дає можливість чітко виокремити лінійні морфологічні елементи рельєфу. Вони виражені прямими ділянками долин рік, ерозійних форм, крутими відрізками схилів, брівками привершинних пагорбів. Ці елементи, відомі під назвою оролінементів, як підтверджують геофізичні дані, стають індикаторами тектонічних розривів і тріщин. На основі виконаних досліджень встановлено, що для височини Опілля напрями простягання різнопорядкових лінементів узгоджені із загальною тектонічною тріщинуватістю території. Щільність розташування лінементних зон корелює із геодинамічною обстановкою регіону. Зокрема, більша щільність лінементів характерна для периферії блоків різного градієнта швидкостей



неотектонічних рухів, що пов'язано зі зростанням напруженості на межі блоків різної активності. Більша густота лінементів пов'язана також із зонами дії розломів значної та помірної неотектонічної активності.

### Література

- Азімов О. Т. Методологія розрізнення диз'юнктивних дислокацій за матеріалами дистанційних зйомок. Стаття 5. Геоіндикаційна інформативність сучасного ландшафту щодо визначення особливостей розривних порушень / О. Т. Азімов // Збірник наукових праць УкрДГРІ. – № 3–4. – 2010. – С. 119–146.
- Арістов М. В. Створення похідних карт лінементів на основі ГІС та їх інтерпретація при прогнозуванні геологічних структур // Регіональні екологічні проблеми: зб. наук. праць. – Київ: Обрії, 2002. – С. 337–339.
- Байрак Г. Р. Дистанційні дослідження Землі: навч. посіб. / Г. Р. Байрак, Б. П. Муха – Львів: Видавн. центр ЛНУ ім. І. Франка, 2010. – 712 с.
- Байрак (Чупило) Г. Р. Морфотектонічна інтерпретація зображення Українських Карпат на космічних знімках / Г. Р. Чупило, Ю. В. Зінько, Я. С. Кравчук // Геодинаміка гірських систем Європи: тези доп. міжн. конференції. – Львів–Яремча, 1994. – С. 24–25.
- Бень Я. Структурна геологія поверхні Мохо західного регіону України / Я. Бень, О. Олещук, Є. Корнієнко // Геодинаміка. – 2006. – № 1 (5). – С. 34–38.
- Гинтов О. Б. Разломно-блоковая тектоника Вольно-Подоллии. Кинематический анализ // Геофизика. – 2004. – № 1. – С. 56–71.
- Гофштейн И. Д. Неотектоника западной Вольно-Подоллии. – К.: Наук. думка, 1979. – 156 с.
- Гофштейн И. Д. Линеаменты западной части Украины / И. Д. Гофштейн, А. П. Медведев // Геология и геохимия горючих ископаемых. – 1989. – № 72. – С. 16–24.
- Верховцев В. Г. Активні на новітньому етапі розвитку лінійні геоструктури Українського щита та його схилів / В. Г. Верховцев, Ю. В. Юськів, В. Г. Швайко // Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист. – 2012. – Вип. 5. – С. 49–59.
- Знаменская Т. А. Блоковая тектоника Вольно-Подоллии / Т. А. Знаменская, И. И. Чебаненко – К.: Наук. думка, 1985. – 155 с.
- Караваев В. Я. Широтная зональность тектоники Львовско-Волынского бассейна // Доклады АН УССР. – Серия Б. – Геол., хим. и биол. науки. – 1987. – № 2. – С. 10–12.
- Кац Я. Г. Основы линеаментной тектоники / Я. Г. Кац, А. И. Полетаев, Э. Ф. Румянцева – М.: Недра, 1986. – 144 с.
- Космогеологическая карта СССР. Масштаб 1:2500 000. – М., 1982.
- Круглов С. С. Карта разломной тектоники запада Украинской ССР. Масштаб 1:1000000. Приложение к монографии «Геодинамика Карпат» / С. С. Круглов, А. В. Хижняков – К.: Наук. думка, 1985.
- Палиенко В. П. Новейшая геодинамика и ее отражение в рельефе Украины / В. П. Палиенко. – К.: Наук. думка, 1992. – 116 с.
- Палиенко В. П. Морфоструктурно-неотектонічні критерії визначення рейтингу неотектонічно активних розломів / В. П. Палиенко, Р. О. Спиця // Фізична географія та геоморфологія. – К.: ВГЛ «Обрії», 2009. – Вип. 56. – С. 49–55.
- Полівцев А. В. Карта вертикальних голоценових рухів Волино-Поділля та Передкарпаття // Геодинаміка. – 2011. – № 1(10) – С. 58–70.
- Свинко Й. Неотектоніка і рельєф Західно-Подільського горбогір'я / Й. Свинко, П. Дем'янчук // Наук. записки Тернопільського нац. пед. ун-ту ім. В. Гнатюка. – Серія: географія. – № 1 (7) – Тернопіль, 2001. – С. 17–25.
- Смішко Р. М. Структурна геологія та геологічне картування: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Р. М. Смішко, В. Г. Пащенко – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2010. – 254 с.
- Тектонічна карта України. Масштаб 1:1000 000. За ред. Д. С. Гурського. – К., 2007.
- Casas Antonio M., Cortes Angel L., Adolfo Maestro, Soriano M. Asuncion LINDENS: A program for lineament length and density analysis. Computers & Geosciences. Volume 26, Issue 9-10, Nov. 2000. – P. 1011–1022.
- Hung L. Q., Batelaan O., and De Smedt F. Lineament extraction and analysis, comparison of LANDSAT ETM and ASTER imagery. Case study: Suoimuoi tropical karst catchment, Vietnam. Proc. SPIE 5983, Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology V, 59830T (October 29, 2005); doi:10.1117/12.627699
- Kocal A., Duzgunb H. S., Karpuz C. Discontinuity mapping with automatic lineament extraction from high resolution satellite imagery. Photogrammetry and Remote Sensing, 2012. Available at: <http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm7/papers/205.pdf>
- Mishra D. C., Bijendra Singh, Gupta S. B. Major lineaments and gravity-magnetic trends in Saurashtra, India // Research Communications. Current Science, vol. 80, no. 8, 25 april 2001. – pp. 1059-1067.
- Ozimekowski Wojciech Lineamenty otoczenia Tatr – porównanie interpretacji DEM i MSS [Lineaments surroundings of Tatras – comparison interpretation of DEM and MSS]. Przegląd Geologiczny, vol. 56, nr 12, 2008. – S.1099–1102.

Г. Р. БАЙРАК<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Кафедра геоморфології і палеогеографії, географічний факультет, Львівський національний університет імені Івана Франка, ул. Дорошенко, 41, Львів, Україна, 79000. ел. пошта g\_bajrak@ukr.net

#### ВЫДЕЛЕНИЕ И АНАЛИЗ ОРОЛИНЕАМЕНТОВ ВОЗВЫШЕННОСТИ ОПОЛЬЯ НА ОСНОВЕ 3D-МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА

**Цель работы** – на основе 3d-модели рельефа, выполненной в ГИС, выделить орографические линейные элементы возвышенности Ополья (Украина). **Методика.** Для построения мелкомасштабных 3d-моделей рельефа на территорию Ополья использованы данные американской миссии SRTM. Для построения крупномасштабных 3d-моделей выполнено оцифровку горизонталей топографической карты (1:50 000). **Результаты.** Выявлено хорошо и слабо выраженные в рельефе линейные элементы. Их образуют прямые участки долин рек, эрозионных форм, крутые отрезки склонов, бровки вершинных поверхностей, линейно упорядоченные вершины холмов. Выделенные линейные элементы за четкостью выражения в рельефе и протяженностью мы разделили на три порядка. Установили главные направления линейных элементов разных порядков. Для линейных элементов первого порядка характерны субмеридиональные (355°) и диагональные (300 и 70°) ориентировки, второго порядка – субмеридиональное (355°) и субширотное (285°), третьего порядка – субширотное направления (280–290°). Для возвышенности Ополья направления разнопорядковых линейных элементов согласованы с общей тектонической трещиноватостью территории. Исследовано также связь плотности линейных элементов с неотектонической активностью региона. В периферийных зонах активных поднятий возникают большие напряжения в земной коре за счет расположения их на границах блоков с разной тектонической активностью и давлением их один на другой. В нашем примере – активного Опольского и менее активных Тернопольского и Малополесского, а также Опольского и более активного Приднестровского структурных блоков. Для этих зон значительных напряжений характерна повышенная трещиноватость пород, которая выражается на поверхности более густой плотностью оролинеаментов. В центральной части тектонических блоков происходит снижение напряжений за счет более равномерного распределения давления внутри структуры. Такие участки соответственно индицирует незначительная трещиноватость и малая густота линейных элементов. Большая плотность линейных элементов увязывается также с зонами действия разломов значительной и умеренной неотектонической активности. **Новизна.** Впервые для возвышенности Ополья на основе 3d-модели рельефа выделены линейные элементы, исследованы их проявления в рельефе, за выраженностью в рельефе и протяженностью разделены на порядки, вычислены показатели плотности линейных элементов. **Практическое значение.** На основе линейного анализа можно прогнозировать миграции углеводородов в земной коре и выявлять предсказуемые места их скопления. Он перспективный также для поисков подземных вод для питьевых, бытовых и лечебных нужд.

*Ключевые слова:* линейная тектоника, орографические линейные элементы, 3d-модель рельефа в ГИС, иерархия линейных элементов, направления простирания, плотность линейных элементов.

G. R. BAYRAK<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department Geomorphology&paleogeography of geographical faculty of Ivan Franko Lviv National University, 41, Doroshenko street, Lviv, Ukraine, 79000. Mail: g\_bajrak@ukr.net

#### IDENTIFICATION AND ANALYSIS OF OROGRAPHIC LINEAMENTS OF THE UPLAND OPILLYA BASED ON 3D-TERRAIN MODELS

**The work purpose** – on the basis of 3d-model of a relief in GIS to sort out orographic lineaments of the upland Opillya (Ukraine). **A method.** For construction 3d-models of a relief (scale 1:200 000) on terrain Opillya the data of American mission SRTM has been used. For construction of 3d-models (scale 1:50 000) have executed numbering of horizontals of a topographic map. **Results.** Have revealed well and poorly expressed in a relief lineaments. They are expressed by direct fields of valleys of the rivers, erosion forms, abrupt pieces of slopes, edge the topmost surfaces, linearly regulated fastigiums of hills. Excreted lineaments behind clearness of expression in a relief and extent we have divided into 3 grades. Set the main directions of lineaments of different ranks. For lineaments 1 rank characteristic north-south (355°) and diagonal (300&70°) orientation, 2 rank – north-south (355°) and sublatitudinal (285°), 3 rank – sublatitudinal direction (280–290°). So that their orientation can be represented in rose diagrams. For upland areas different ranks Opillya lineaments agreed with the general tectonic fracture territory. Also studied the relationship between the density of lineaments with neotectonic activity in the region. In the peripheral areas of active uplift there are big stresses in the Earth's crust due to their location on the block boundaries with different tectonic activity and pressure them one to one. In our example – active block Opillya and less active blocks Ternopil and Malopoleskij, block Opillya and more active block Pridnestrovie. These zones are characterized by considerable stress increased fracture rocks, which is

reflected on the surface of a thick density orolineaments. In the central part of the tectonic blocks the voltage falls due to more uniform distribution of pressure within the structural blocks. Such areas indicates a slight fracture and low density of lineaments. The high density of lineaments also linked with zones of large faults action and moderate neotectonic activity. **Originality.** For the first time for upland Opillya on the basis 3d-model of relief selected lineaments, their exhibiting in a relief, behind their expressiveness in a relief and slowness divided into ranks are investigated, density indexes lineaments. **Practical significance.** On a basis lineaments analysis it is possible to predict migrations of hydrocarbons in earth crust and to reveal predicted places of their clump. He is also perspective to search for underground water for drinking, household and medical needs.

*Key words:* lineaments tectonics; orographic lineaments; 3d-model of relief in GIS; ranging of lineaments; orientation and density of lineaments.

## REFERENCES

- Azimov O. T. Metodolohiya rozrznennyya dyz'yunktyvnykh dyslokatsiy za materialamy dystantsiynykh zymok. Stattya 5. Heoindykatsiyna informatyvnysh' suchasnoho landshaftu shchodo vyznachennyya osoblyvostey rozryvnykh porushen' [Methodology distinction disjunctive dislocations on the basis of materials of remote sensing. Article 5. Geoinformative information contemporary landscape features to identify faults]. *Zbirnyk naukovykh prats' UkrDHRI* [Collected Works UkrSGRI]. No. 3–4, 2010, pp. 119–146.
- Aristov M. V. Stvorennyya pokhidnykh kart lineamentiv na osnovi HIS ta yikh interpretatsiya pry prohnouzuvanni heolohichnykh struktur [Create derivative maps of lineaments based on GIS and interpretation of geological structures in predicting]. *Zbirn. nauk. prats' Rehional'ni ekolohichni problemy* [Scientific Papers Regional environmental problems]. Kyiv, Obriyi, 2002, pp. 337–339.
- Bayrak H. R., Mukha B. P. Dystantsiyni doslidzhennyya Zemli [Remote sensing Earth exploration]. Navch. Posibnyk. L'viv, Vydavn. tsentr LNU im. I.Franka, 2010, 712 p.
- Bayrak (Chupylo) H. R., Zin'ko Yu. V., Kravchuk Ya. S. Morfotektonichna interpretatsiya zobrazhennyya Ukrayins'kykh Karpat na kosmichnykh znimkakh [Morphotectonic interpretation of the image of the Ukrainian Carpathians on satellite images]. *Tezisy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Heodynamika hirs'kykh system Yevropy"* [Abstracts of the international scientific-practical conference "Geodynamics of mountain systems in Europe"]. L'viv-Yaremcha, 1994, pp. 24–25.
- Ben' Ya., Oleshchuk O., Korniyenko Ye. Strukturna heolohiya poverkhni Mokho zakhidnoho rehionu Ukrayiny [Structural Geology Moho surface of Western region of Ukraine]. *Heodynamika*. [Geodynamics]. 2006, no.1 (5), pp. 34–38.
- Casas Antonio M., Cortes Angel L., Adolfo Maestro, Soriano M. Asuncion LINDENS: A program for lineament length and density analysis. *Computers & Geosciences*. Volume 26, Issue 9-10, Nov. 2000, pp. 1011–1022.
- Gintov O. B. Razlomno-blokovaya tektonika Volyno-Podolii. Kinemacheskyy analiz [Fault-block tectonics of Volyn-Podolia. Kinematic analysis] – *Geofizika* [Geophysics], 2004, no.1, pp. 56–71.
- Gofshteyn I. D. Neotektonika zapadnoy Volyno-Podolii [Neotectonics of Western Volyn-Podolia]. Kyiv, Nauk. Dumka, 1979, 156 p.
- Gofshteyn I. D., Medvedev A. P. Lineamenty zapadnoy chasti Ukrainy [The lineaments western part of Ukraine]. *Geologiya i geokhimiya goryuchikh iskopaemykh* [Geology and Geochemistry of Combustible Minerals]. 1989, no. 72, pp. 16–24.
- Hung L. Q., Batelaan O., and De Smedt F. Lineament extraction and analysis, comparison of LANDSAT ETM and ASTER imagery. Case study: Suoimuoi tropical karst catchment, Vietnam. *Proc. SPIE 5983, Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology V, 59830T* (October 29, 2005); doi:10.1117/12.627699
- Karavaev V. Ya. Shirotnaya zonal'nost' tektoniki L'vovsko-Volynskogo basseyna [Latitudinal zoning tectonics of the Lvov-Volyn basin]. *Doklady AN USSR, Seriya B, Geol., khim. i biol. Nauki* [Reports of Ukrainian Academy of Sciences, Serie B, Geol., Chem. and Biol. sciences], 1987, no. 2, pps. 10–12.
- Kats Ya. G., Poletaev A. I., Rumyantseva E. F. Osnovy lineamentnoy tektoniki [Basics lineament tectonics]. Moscow, Nedra, 1986, 144 p.
- Kocal A., Duzgunb H. S., Karpuz C. Discontinuity mapping with automatic lineament extraction from high resolution satellite imagery. *Photogrammetry and Remote Sensing*, 2012. Available at: <http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm7/papers/205.pdf>
- Kosmogeologicheskaya karta SSSR. Masshtab 1:2500 000 [Space geological map of the USSR. Scale 1: 2500 000]. Moscow, 1982.
- Kruglov S. S., Khizhnyakov A. V. Karta razlomnoy tektoniki zapada Ukrainskoy SSR. Masshtab 1:1000000. Prilozhenie k monografii «Geodinamika Karpat» [The map of a faulting of the west part Ukrainian SSR. Scale 1: 1,000,000. Annex to the monograph "Geodynamics of the Carpathians"]. K., Nauk.dumka, 1985.
- Mishra D. C., Bijendra Singh, Gupta S. B. Major lineaments and gravity-magnetic trends in Saurashtra, India. *Research Communications. Current Science*, vol. 80, no. 8, 25 april 2001, pp. 1059–1067.

- Ozimkowski Wojciech Lineamenty otoczenia Tatr – porównanie interpretacji DEM i MSS [Lineaments surroundings of Tatras – comparison interpretation of DEM and MSS]. *Przegląd Geologiczny*, vol. 56, nr 12, 2008, pp.1099–1102.
- Palienko V. P. Noveyshaya geodinamika i ee otrazhenie v rel'efe Ukrainy [Neogen-quaternary geodynamics and its reflection in relief of the Ukraine]. Kyiv, Nauk.dumka, 1992, 116 p.
- Paliyenko V. P., Spytysya R. O. Morfostrukturno-neotektonichni kryteriyi vyznachennya reytnyhu neotektonichno aktyvnykh rozlomiv [Neotectonic geodynamics as a factor in the space-time changes of geomorphogenesis]. *Fizychna heohrafiya ta heomorfolohiya* [Physical Geography and Geomorphology], Kyiv, VHLobriyi, 2009, issue 56, pp. 59–45.
- Polivtsev A. V. Karta vertykal'nykh holotsenovykh rukhiv Volyno-Podillya ta Peredkarpattya [The map of vertical holocene movements of Volyno-Podillya and pre-Carpathians]. *Heodynamika* [Geodynamics]. 2011, no. 1(10, pp. 58–70.
- Svynko Y., Dem"yanchuk P. Neotektonika i rel'yef Zakhidno-Podil's'koho horbohir"ya [Neotectonics and relief of the West-Podilla Hill Ridge]. *Nauk. zapysky Ternopil's'koho nats. ped. un-tu im. V.Hnatiuka. Seriya: heohrafiya*. [Science notes Ternopil national pedagogical university of name V.Hnatiuk. Geography series]. No. 1 (7), Ternopil', 2001, pp. 17–25.
- Smishko R. M., Pashchenko V. H. Strukturna heolohiya ta heolohichne kartuvannya [Structural geology and geological mapping]. Navch. posib. dlya stud. vyshch. navch. zakl. L'viv: LNU imeni Ivana Franka, 2010, 254 p.
- Tektonichna karta Ukrayiny. Masshtab 1:1000 000. Za red. D.S. Hurs'koho. [Tectonic map of Ukraine. Scale 1:1000 000. Editors-in-chief H.S.Gursky]. Kyiv, 2007.
- Verkhovtsev V. H., Yus'kiv Yu. V., Shvayko V. H Aktyvni na novitn'omu etapi rozvytku liniyni heostrukury Ukrayins'koho shchyta ta yoho skhyliv [Active in the newest development stage of linear geostructures of Ukrainian shield and its slopes]. *Naukovyy zbirnyk «Tekhnohenko-ekolohichna bezpeka ta tsyvil'nyy zakhyst»* [Technogenic and ecological security and civil protection]. 2012, issue.5, pp.49–59.
- Znamenskaya T. A., Chebanenko Y. Y. Blokovaya tektonyka Volyno-Podolii [Block tectonics of the Volyn-Podolia]. Kyiv, Nauk.dumka, 1985, 155 p.

Надійшла 16.12.2014 р.