

УДК:551.248.2:551.243.1

**Р.О. Спиця**

## **ГІС НЕОТЕКТОНІЧНО АКТИВНИХ РОЗЛОМІВ ПЛАТФОРМНИХ ОБЛАСТЕЙ: СТРУКТУРА БАЗИ ДАНИХ ТА ЗМІСТ АНАЛІТИКО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ ОПЕРАЦІЙ**

**Р.А. Спица**

**ГИС НЕОТЕКТОНИЧЕСКИ АКТИВНЫХ РАЗЛОМОВ ПЛАТФОРМЕННЫХ ОБЛАСТЕЙ: СТРУКТУРА БАЗЫ ДАННЫХ И СОДЕРЖАНИЕ АНАЛИТИЧЕСКИ-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ**

*Институт географии Национальной академии наук Украины, Киев*

Рассмотрены проблемы и определены главные задачи комплексных исследований неотектонически активных платформенных разломов территории Украины с применением программно-аппаратных средств ГИС. Обоснована структура основных информационных блоков базы данных ГИС неотектонически активных разломов, а также содержание и последовательность операций, применяемых в процессе диагностики, определения неотектонического рейтинга и картографирования неотектонически активных платформенных разломов и зон их динамического влияния.

**Ключевые слова:** неотектонически активный разлом; морфоструктурно-неотектоническая ГИС; база данных; неотектонический рейтинг; паспортизация.

**R. Spitsa**

**GIS OF NEOTECTONICALLY ACTIVE FAULTS OF PLATE AREAS: DATABASE STRUCTURE AND CONTENT OF ANALYTICAL-COMPUTATIONAL OPERATIONS**

*Institute of Geography of the Ukraine National Academy of Sciences, Kiev*

The problems have been reviewed and the main tasks of neotectonically active plate faults comprehensive research in Ukraine using GIS software and hardware have been identified. The structure of main information units on neotectonically active faults GIS database, as well as the content and sequence of operations used in the diagnosis, neotectonic rate definition and mapping neotectonically active plate fault zones and their dynamic influence have been founded.

**Keywords:** neotectonically active fault, morphostructural-neotectonic GIS, database, neotectonic rating, certification.

### **Актуальність теми дослідження**

Дослідження неотектонічно активних розломів платформних областей пов'язано з фундаментальними проблемами вивчення походження і механізмів виникнення платформних дислокацій, оцінювання впливів орогенного оточення на процеси, які відбуваються на платформах, вивчення співвідношення вертикальної та горизонтальної складових у розвитку платформних розломів, параметризації неотектонічно активних розломів, розширення методичної бази їх дослідження, у тому числі з залученням структурно-геоморфологічних і неотектонічних методів аналізу.

З неотектонічно активними розломами, особливо тими, що характеризуються проявами сучасної тектонічної активності, а також вузлами їх перетину (морфоструктурними вузлами) пов'язані явища підвищеної сейсмічності, послаблення механічних властивостей порід, виникнення геологічних, геофізичних, геохімічних, геоморфологічних аномалій, що дозволяє розглядати їх як області підвищеного неогеодинамічного ризику.

### **Стан вивченості проблеми та методика дослідження**

Аналіз публікацій, присвячених вивченню неотектонічно активних розломів, свідчить, що внут-

рішньоплатформні лінійні структури, сучасна тектонічна активність яких не завжди підтверджена інструментальними методами, є значно менш вивченими порівняно з крупними лінійними структурами, що формуються в зонах контакту літосферних плит різних типів і характеризуються підвищеною сейсмічністю, високими швидкостями сучасних повільних вертикальних і горизонтальних рухів земної кори. Неотектонічно активні платформні розломи не завжди характеризуються наявністю прямих ознак зміщення порід та їх значними амплітудами. Часто вони представлені флексурами, флексурно-розривними зонами, або зонами тріщинуватості.

Разом з тим, існує багато достовірних геологічних, геоморфологічних, геофізичних даних, які підтверджують підвищену неотектонічну та сучасну тектонічну активність внутрішньоплатформних розломів, їх вплив на процеси осадконакопичення, геоморфогенезу, рудогенезу тощо. Тому виявлення, визначення кінематичних типів, встановлення просторово-часових закономірностей розвитку лінійних морфоструктур платформних територій та визначення їх геодинамічного рейтингу є важливою науково-практичною проблемою, розв'язання якої пов'язано з необхідністю вирішення низки завдань.

Одним із найважливіших завдань при вивченні

неотектонічно активних розломів є виявлення прямих та опосередкованих *геолого-геоморфологічних ознак* їх активності. Перші дозволяють однозначно судити про наявність та геодинамічні характеристики розлому, інші - з різним рівнем достовірності підтверджують наявність порушення, його вираженість у будові геолого-геоморфологічних об'єктів, зокрема товщі пізньокайнозойських відкладів і рельєфу, що формувався у цей час.

Структурно-геоморфологічні дослідження неотектонічно активних розломів передбачають: виявлення домінантних геолого-геоморфологічних, геофізичних, геохімічних індикаторів неотектонічної активності розломів, зонування території за ступенем інформативності та рівнем надійності ознак або їх комбінацій, виявлення просторових закономірностей неотектонічних активізацій по розломах, визначення зон їх взаємодії та впливу, кількісну оцінку неотектонічної та сучасної тектонічної активності розломів.

Складним є завдання *кількісного оцінювання активності* розломів на різних етапах їх розвитку. Достовірність результатів досліджень залежить від наявності якісних первинних даних та обґрунтованості методів їх узагальнень. При цьому динамічні процеси у зонах активних розломів слід розглядати як поєднання вертикальних і горизонтальних переміщень, односпрямованих у межах певного часового інтервалу, а також складних переміщень, часто зі змінами знаку тектонічних рухів на різних крилах розлому в межах різних часових відтинків.

Виявлення закономірностей динаміки зон активних розломів платформної частини території України пов'язано з використанням комплексів геолого-геоморфологічних, геофізичних, геохімічних, картометричних, математичних, інструментальних, дистанційних методів і методичних прийомів, спрямованих на дослідження співвідношення рельєфу і неотектонічних або більш давніх тектонічних структур різних типів і рангів, вивчення ендегенних режимів та обстановок, які контролюють процеси структуроутворення та геоморфогенезу або диференціацію активності структур у просторі й часі, вивчення етапності циклічності геоморфогенезу і тектогенезу [8,9,11,14].

Одним із способів діагностики активних розломних порушень, які впливають на формування рельєфу, є встановлення гіпсометричної диференціації рельєфу шляхом аналізу тривимірних моделей рельєфу. Зокрема, критерієм виділення активного розлому є збереження певного співвідношення абсолютних висот у межах суміжних блоків, розділених розломом або його сегментом. Існуюча різниця висот блоків, які розташовані на різних крилах розлому, може бути результатом підняття одного або опускання іншого блоку (Орлова А.В., 1975).

Важливим діагностичним критерієм неотектонічно активних розломних порушень є наявність рельєфу різних генетичних типів на протилежних

крилах розлому. Для дослідження і картування генетичних типів рельєфу широко застосовуються результати польових спостережень на тестових ділянках у комплексі з результатами дешифрування даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та аналізу даних свердловання.

Для кількісної оцінки неотектонічної активності розломів найчастіше використовують дані про коливання показників сумарних амплітуд і середніх градієнтів швидкості неотектонічних рухів земної кори на різних крилах розломів [10,14]. Комплексна оцінка неотектонічної активності розломів здійснюється методом експертних оцінок з урахуванням особливостей диференційованості фонові неотектонічної активності лінійних структур [7,9,13,14].

Для вивчення неотектонічних процесів у зонах активних розломів важливе значення має дослідження напруженого стану земної кори. Зазвичай, реконструкція неотектонічних полів напружень здійснюється за допомогою: аналізу сейсмологічних даних, комплексу геолого-геоморфологічних даних, отриманих внаслідок структурно-геоморфологічного аналізу, тектонічного аналізу спряжених систем вторинних розривів, спеціальної інтерпретації даних про сучасні вертикальні рухи земної кори, а також за даними вивчення розривів у гірських виробках та природних відслоненнях.

Важливого значення у зв'язку з вивченням тектонічних напружень набувають також дослідження горизонтальних рухів земної кори та зон динамічного впливу розломів, які формуються впродовж всієї історії їхнього розвитку і мають вплив на формування закономірностей будови сучасного рельєфу (Матвеев А.В., Нечипоренко Л.А., 2003; Кузьмін С.Б., 1991 та інші).

Методичні аспекти використання морфоструктурного аналізу для виявлення зон впливу неотектонічно активних розломів висвітлені в роботах А.В. Орлової (1975), С.Б. Кузьміна [1990,1991], А.В. Аржанікової (2001), Д.С. Зикова (2004), Р.Г. Гарецького О.К. Карбанова, Р.Г. Айзберга (2007, 2009), Д.М. Курловича [4], В.П. Палієнко [8,9,11], В.Г. Верховцева (2004) та інших, у яких відображені підходи до виявлення геоморфологічних ознак деструктивних полів у зонах неотектонічно активних розломів різних типів - скидів, насувів, розсувів, тектонічних зсувів.

Зона динамічного впливу неотектонічно активного розлому визначається за допомогою комплексної оцінки ступеня тектонічної роздробленості території, градієнта швидкості вертикальних неотектонічних рухів, щільності ерозійного розчленування, тангенсу кутів нахилу рельєфу як показника активності схилових процесів та потужності екзогенно-активного шару як показника площинної денудації (С.Б. Кузьмін, 1990, А.В. Аржанікова, 2001).

Структурно-геоморфологічний метод аналізу другорядних супроводжуючих розривів для реконструкції тектонічних напружень і напрямів зсувних зміщень по розломах (метод вторинних порушень) розроблений Л.А.Сім (Л.А. Сим,1996). Він базується на припущенні, що орієнтація тектонічних зсувів буде близькою у випадку, якщо вони розвиваються в однорідному чи квазіоднорідному середовищі. В основі цього методу лежить припущення про те, що різнорангові тектонічні порушення прямо чи опосередковано відображені у сучасному рельєфі у вигляді лінеаментів або лінеаментних зон, що дешифруються на аеро- та космоснімках, топографічних картах. Якщо в розломному порушенні домінує горизонтальна складова, то в зоні його динамічного впливу формується система закономірно орієнтованих вторинних порушень (тріщини відриву й сколювання), взаємну орієнтацію яких детально проаналізував М.В. Гзовський (1975).

На окрему увагу заслуговують вузли перетину активних розломів - морфоструктурні вузли, які розглядаються як найбільш геодинамічно активні ділянки літосфери. Процедура їх виділення та картографування передбачає врахування диференціації абсолютних висот рельєфу, ступеня його розчленованості; орієнтації лінійних форм (прямолінійних ділянок русел, уступів тощо), типів рисунку річкових долин, неотектонічних параметрів. Для визначення часових параметрів активності морфоструктурних вузлів використовують дані про вік рельєфу, який бере участь у будові морфоструктурного вузла, а для оцінки сучасної активності - дані про розташування епіцентрів землетрусів, газогідрогеохімічних і гідрогеологічних аномалій, локалізації зон тріщинуватості тощо (Е.Я. Ранцман, М.П. Гласко,2004).

Десятиріччями дослідники накопичували фактичний матеріал щодо кінематичних типів розломних порушень, зон їх динамічного впливу та динаміки на різних часових відрізках, розробляли методичний апарат для їх дослідження.

Систематизація, комплексний аналіз даних щодо неотектонічної і сучасної тектонічної активності розломів та інтерпретація отриманих результатів з метою визначення їх геодинамічного рейтингу найефективніше забезпечується за допомогою ГІС-технологій [2, 7, 8-10, 12-14, 17, 18 та ін.]. Незважаючи на широке застосування геоінформаційних технологій в геолого-геоморфологічних дослідженнях, частка робіт, присвячених комплексному аналізу геолого-геоморфологічного середовища з метою виявлення, визначення кінематичних типів та оцінювання геодинамічного рейтингу платформних розломів, відносно незначна.

М е т а цієї публікації - обґрунтування структури бази даних, етапів створення та методики використання морфоструктурно-неотектонічної

ГІС для виявлення неотектонічно активних платформних розломів, визначення їх неотектонічного рейтингу та картографування.

### Виклад основного матеріалу

Відомо, що морфоструктурно-неогеодинамічна ГІС неотектонічно активних розломів складається з трьох структурних компонентів: апаратного та програмного комплексів, що забезпечують техніко-технологічні можливості системи (збір, обробка, зберігання та аналіз різнопланової інформації), а також інформаційного блоку (бази даних), що містить дані для проведення геоінформаційного моделювання та картографування [12,18].

Створення, інформаційне наповнення бази даних ГІС неотектонічно активних розломів відбувається в кілька етапів. На першому етапі проводиться вибір програмного забезпечення, що використовується для створення бази даних, проведення аналітичних операцій та картографування. Сучасні програмні пакети ГІС (ArcGIS, Mapinfo Professional тощо) забезпечують широкий набір інструментів для роботи з різноформатними просторово визначеними геологічними, геофізичними, геоморфологічними, геодезичними даними. Використання додаткових програмних модулів, які суттєво розширюють можливості базових ГІС-пакетів, дозволяє створювати геоінформаційні системи, орієнтовані під потреби користувача [18]. Важливою складовою програмного забезпечення досліджень зон активних розломів є також засоби для обробки даних дистанційного зондування Землі у різних спектрах видимого і невидимого (інфрачервоного, ультрафіолетового) діапазонів, даних радіолокаційного, магнітометричного, гравіметричного, теплового знімання. Поліпшення якості та доступності даних ДЗЗ відкрило широкі можливості для проведення автоматизованого та напівавтоматизованого лінеаментного аналізу, який є особливо ефективним на закритих рівнинно-платформних територіях з невиразним рельєфом [1, 2, 4].

На другому етапі проводиться збір та систематизація вихідних даних (базової інформації) дослідження. До таких даних відносяться растрові та векторні геологічні, геоморфологічні, геофізичні, геохімічні, топографічні карти, карти фактичного матеріалу (розміщення свердловин, відслонень, шурфів), описи свердловин, відслонень, дані польових спостережень тощо. В процесі створення бази даних проводиться сканування та просторова прив'язка растрових матеріалів, їх повна або часткова векторизація, приведення до єдиної картографічної проекції та масштабу. Найявні цифрові матеріали (карти, бази даних, матеріали ДЗЗ) за необхідності конвертуються у внутрішній формат ГІС.

Наступним етапом дослідження є розробка структури баз морфометричних, неотектонічних,

інструментальних даних, обґрунтування аналітичних та графоаналітичних операцій, а також набору кількісних показників, які використовуватимуться для дослідження неотектонічно активних розломів (виявлення, визначення кінематичних типів, оцінювання неотектонічної, сучасної тектонічної активності, ранжування за комплексом ознак, картографування).

Сучасна ГІС неотектонічно активних розломів дозволяє оперувати базами даних з різними способами організації об'єктів. З метою вирішення ряду завдань морфометричного і неотектонічного аналізу та картографування (тривимірне моделювання рельєфу, моделювання гіпсометрії і потужностей реперних горизонтів відкладів тощо) використовуються бази даних з випадковою (нерегулярною) просторовою організацією елементів, кількість яких може змінюватися від кількох десятків до мільйонів тисяч. Обчислення ряду аналітичних (коефіцієнти вертикального і горизонтального розчленування рельєфу, потужність екзогенно активного шару тощо) і більшості синтетичних показників потребує створення баз даних з регулярною організацією елементів, які графічно можна представити у вигляді системи кластерів, розміри яких змінюються залежно від масштабу дослідження.

Особливістю баз даних морфоструктурно-неотектонічної ГІС активних розломів є їх поетапне наповнення атрибутивною інформацією в процесі реалізації аналітично-обчислювальних і графоаналітичних операцій.

Морфоструктурно-неотектонічну ГІС неотектонічно активних розломів можна представити у вигляді ряду інформаційних блоків (таблиця 1.).

Після обґрунтування структури і первинного інформаційного наповнення баз даних ГІС неотектонічно активних розломів проводиться поетапне наповнення основних інформаційних блоків.

Основним інформаційним блоком (базою даних) для проведення *морфометричного аналізу* є цифрова висотна модель рельєфу (ЦВМР). Джерелами інформації для її побудови є ізольовані моделі рельєфу, дані фотографічного та радіолокаційного аерокосмічного, JPS- знімання та ехолотування дна підводного рельєфу.

До найтехнологічніших ЦВМР відносяться DEM та TIN моделі, які з визначеною точністю описують просторове положення (висоту) і структуру земної поверхні як неперервного явища. TIN моделі (triangular irregular network) представлені у вигляді нерегулярної системи точок, по яких побудована мережа різнобічних трикутників, що відповідає триангуляції Делоне. Кількість точок на одиницю площі визначає роздільну здатність моделі (grid resolution). DEM моделі (digital elevation modelling) – мережі даних висот земної поверхні, побудовані за даними супутникової альтиметрії,

представлені у вигляді регулярної матриці, кожна точка якої характеризується трьома просторовими координатами: X, Y та Z. Найпоширенішими глобальними та регіональними ЦВМР, що знаходяться у вільному доступі, є гіпсометрична модель геологічної служби США GTOPO 30 USGS 1996 з роздільною здатністю 1 км/піксель, модель радарної топографії SRTM 2003 з роздільною здатністю 90м/піксель, глобальна гіпсометрична цифрова модель GDEM, 2009 ASTER з роздільною здатністю до 30 м. Гіпсометрична похибка матеріалів SRTM для рівнинних областей становить від 2,9 до 5,6 м залежно від щільності розчленування рельєфу [19].

Детальнішими є гіпсометричні моделі, створені за даними лазерного сканування (лідарного знімання). Лідари забезпечують знімання з роздільною здатністю до 2 см/піксель і вертикальною похибкою 2 см. Однак, дані лідарного знімання є достатньо дорогими, їх немає у вільному доступі [3].

Враховуючи обмежені можливості використання доступних DEM та TIN моделей, найпоширенішими джерелами даних для побудови ЦВМР є векторизовані топографічні карти відповідних масштабів. Перевагами таких ЦВМР є доступність, простота обробки більшістю програмних ГІС-пакетів, невибагливість до потужності ЕОМ, невеликий об'єм. До недоліків слід віднести обмежені технологічні можливості: порушення неперервності рельєфу, що веде до недостатньо точного відображення його структури, зокрема детальності відтворення ерозійної мережі; великі часові затрати на векторизацію рельєфу, особливо гірського, ймовірність помилок при присвоєнні атрибутивної інформації векторизованим елементам.

Важливим етапом морфометричного моделювання рельєфу при дослідженні неотектонічно активних розломів є коректне моделювання ерозійної та вододільної мережі та визначення порядків долин і вододілів. Доведено, що плановий малюнок ерозійної мережі в багатьох випадках залежить від кінематичних типів та неотектонічної активності лінійних структур, що її контролюють. Елементи ерозійного рельєфу та їх просторові поєднання, пристосовуючись до розломів та зон підвищеної тріщинуватості, утворюють прямолінійні, зигзагоподібні, дугоподібні та напівкільцеві фрагменти [8].

Ділянки передбачуваної активізації розломних зон можуть бути відображені й в інших елементах морфоскульптури. Зокрема, простягання розломних зон часто фіксується лінійно-пасмовими еоловими формами рельєфу, ланцюжками або полями підвищеної щільності суфозійно-карстових западин, гравітаційних льодовикових форм тощо.

Для уточнення положення та визначення зон динамічного впливу виділених розломів доцільно використовувати карти базисних, вершинних поверхонь різних порядків та їх різниць.

Таблиця 1 Інформаційні блоки морфоструктурно-неотектонічної ГІС неотектонічно активних платформних розломів

Інформаційний блок	Зміст аналітично-обчислювальних та синтетичних операцій	Вихідні картографічні моделі.
1	2	3
Укладання попередньої схеми розломів	Розробка структури бази даних неотектонічно активних розломів Укладання попередньої схеми неотектонічно активних розломів з урахуванням опублікованих тектонічних (неотектонічних) карт, фондових джерел та матеріалів польових досліджень	Попередня схема неотектонічно активних розломів
Морфометричне моделювання рельєфу	Ізолінійне, тривимірне, псевдотривимірне моделювання рельєфу Обчислення показників потужності екзогенно активного шару, інтегрального, ерозійного коефіцієнтів розчленування рельєфу, кутів нахилу земної поверхні Визначення порядків річково-ерозійної та вододільної мереж Створення моделей гіпсометрії базисних і вершинних поверхонь різних порядків та перевірка їх достовірності. Обчислення різниці між базисними і вершинними поверхнями Обчислення значень довжини водотоків різних порядків (ізолонг) Обрахунок ступеня ураженості території окремими видами екзогенних процесів	Ізолінійна векторна модель рельєфу Псевдотривимірна модель рельєфу Перспективна тривимірна модель рельєфу Карта потужності екзогенно активного шару Карта інтегрального коефіцієнта розчленування рельєфу Карта щільності розчленування рельєфу постійними водотоками (ерозійного коефіцієнта) Карта порядків річкової (ерозійної) та вододільної мереж Карта базисних і вершинних поверхонь 2 та 4 порядків Карта різниці вершинної і базисної поверхонь n-го порядку Карти рівня ураженості території окремими видами сучасних екзогенних процесів Попередня схема розломів за даними морфометричного аналізу
Лінеаментний аналіз	Дешифрування лінеаментів Обчислення загальної щільності лінеаментів Обчислення щільності лінеаментів різних азимутів простягання Діагностика тектонічних зсувів методом вторинних порушень Реконструкція поля тектонічних напружень Перевірка достовірності виділення тектонічних зсувів	Карта лінеаментів Карта загальної щільності лінеаментів Карти щільності лінеаментів різних азимутів простягання Попередня схема розломів за даними лінеаментного аналізу
Неотектонічний аналіз	Обґрунтування вибірки даних для обчислення абс. відміток поверхні, підшви та розрахунку потужностей реперних горизонтів відкладів, кількісних показників неотектонічної активності структур Обчислення сумарних амплітуд неотектонічних рухів земної кори Обчислення показників середніх градієнтів швидкостей неотектонічних рухів земної кори	Карти гіпсометрії поверхні, підшви та потужностей реперних горизонтів відкладів Карта сумарних амплітуд неотектонічних рухів земної кори Карта середніх градієнтів швидкостей неотектонічних рухів земної кори Карти сумарних амплітуд та середніх градієнтів швидкостей неотектонічних рухів земної кори на окремих підетапах та стадіях неотектонічного етапу Попередня схема розломів за даними неотектонічного аналізу

продовження таблиці 1

1	2	3
Аналіз сучасної геодинаміки	Оцінка просторової диференціації значень швидкостей сучасних вертикальних рухів земної кори за інструментальними даними Оцінка просторової диференціації середніх градієнтів швидкостей сучасних вертикальних рухів земної кори Визначення режимів сучасних рухів земної кори по розломах Ранжування розломів за ступенем сучасної активності	Карта швидкостей сучасних повільних вертикальних рухів земної кори Карта середніх градієнтів швидкостей сучасних тектонічних рухів земної кори Карта сейсмічності Попередня карта сучасної активності розломів
Синтез даних щодо неотектонічно активних розломів	Зіставлення результатів морфометричного, лінеаментного, неотектонічного аналізу та аналізу сучасної геодинаміки з результатами геологічних, геофізичних, геохімічних досліджень Створення заключної схеми неотектонічно активних розломів Визначення зон динамічного впливу розломів Паспортизація неотектонічно активних розломів Визначення неогеодинамічного рейтингу розломів Виявлення та оцінка неотектонічної активності, картографування морфоструктурних вузлів	Карта неотектонічно активних розломів
Прикладне використання ГІС неотектонічно активних розломів	Укладання інженерно-геодинамічних, пошуково-геодинамічних, еколого-геодинамічних карт. Оцінка неогеодинамічного ризику	Інженерно-неогеодинамічна карта Пошуково-неогеодинамічна карта Еколого-геодинамічна карта Карта неогеодинамічного ризику

При автоматизованому моделюванні базисних і вершинних поверхонь повинна бути витримана така залежність: базисна поверхня не може бути вищою, а вершинна – нижчою ніж поверхня сучасного рельєфу. У разі недотримання такої залежності результати моделювання не є достовірними і потребують уточнення (коригування бази даних або застосування інших алгоритмів інтерполяції).

Формування бази даних *блоку лінеаментного аналізу* проводиться з широким залученням даних дешифрування матеріалів ДЗЗ. При їх цифровій обробці використовують автоматизовані та напівавтоматизовані методи аналізу, в основу яких покладено аналіз градієнтів яскравості та характерних текстур багатоспектральних зображень, статистичні методи обробки ЦВМР, частотно-просторовий та дисперсний аналіз зображень з метою

отримання даних про особливості тектонічної будови зрізів земної кори та блокових обмежень тощо.

Статистичний аналіз бази даних лінеаментів забезпечує можливість будувати схеми щільності лінеаментів різних азимутів простягання та виявляти розломи з різною кінематикою, зокрема тектонічні зсуви. Достовірність отриманих результатів підвищується внаслідок сумісної обробки лінеаментних полів з геофізичними, геохімічними та іншими даними з використанням методів математичної обробки: статистичного факторного, дискримінантного аналізів або рівнянь регресії.

База даних *неотектонічного блоку* включає кількісні показники неотектонічної активності лінійних структур. Найчастіше використовують дані про амплітуди коливань показників сумарних амплітуд та середніх градієнтів швидкостей неотекто-

нічних рухів земної кори на різних крилах розломів протягом різного часу (поетапний морфоструктурно-неотектонічний аналіз); особливу увагу приділяють активності у четвертинному часі.

Джерелами вихідних даних для формування бази даних для *аналізу сучасної неогеодинаміки* є дані повторного високоточного й точного нівелювання (I і II класів), що відображають відносні або абсолютні швидкості сучасних рухів, і зведені карти сучасних рухів земної кори та їх градієнтів [5,6].

Важливою для оцінки є інформація про типи сучасних тектонічних режимів та динаміку сучасних рухів земної кори по розломах. Підставою для цього є дані про наявність епіцентрів землетрусів, розміщених в осьовій зоні розлому, та їх магнітуди. Виділяють три типи режиму рухів земної кори по розломах: імпульсний, імпульсно-криповий та криповий [11]. Імпульсний режим притаманний катастрофічним землетрусам ( $M > 7,5$ ). При цьому в зоні розлому виникає зміщення у кілька метрів. Імпульсно-криповий режим характеризуються рухами, які виникають при сильних землетрусах, а також при слабших землетрусах та повільних переміщеннях внаслідок прояву тектонічного крипу. Криповий режим вирізняється безперервними повільними рухами земної кори.

Кінцевим результатом геоінформаційного аналізу неотектонічно активних розломів є *синтез даних* щодо просторово-часових закономірностей їх активізацій, ранжування за кінематичними типами і неотектонічним рейтингом та укладання заключної неогеодинамічної карти, інформативне наповнення якої визначатиметься завданнями дослідження і може оперативного змінюватись шляхом комбінувння різних тематичних шарів ГІС. Актуальним також є питання паспортизації неотектонічно активних розломів з урахуванням нового фактичного матеріалу.

База даних паспортизації та ранжування неотектонічно активних розломів містить максимально повну інформацію про відомі та виділені внаслідок проведених досліджень неотектонічно активні розломні порушення, представлені на результуючій карті сегментованими лінійними об'єктами. Вона дає змогу ранжувати виділені порушення за кінематичними типами, рангами, геодинамічним рейтингом тощо. Необхідність сегментації виділених розломів пояснюється неоднорідністю їх вираження по простяганню, зміною кінематики та ступеня неогеодинамічного рейтингу на окремих ділянках [13,14].

При паспортизації неотектонічно активних розломів враховують такі характеристики [9,14]:

— простягання (середнє для всього розлому або розломної зони - для рівня регіональних досліджень; конкретне - для субрегіонального та ло-

кального рівнів);

— нахил площини розлому (з координатами точки або відтинку, для якого виконано заміри);

— довжина розлому або його відрізка (в км);

— тип зміщення (з інформацією про співвідношення вертикальної та горизонтальної складових зміщення);

— ширина зони динамічного впливу;

— глибина проникнення розлому (верхня частина земної кори, нижня частина земної кори, верхня мантия);

— час останньої активізації рухів по розлому;

— ознаки відображення розлому в будові різновікового рельєфу;

— ознаки відображення розлому в будові пізньокайнозойських відкладів;

— сейсмологічні та сеймотектонічні ознаки сучасної активізації розломів;

— геодезичні та історичні ознаки прояву швидких та повільних сучасних тектонічних рухів земної кори;

— наявність геофізичних, геохімічних, ландшафтних аномалій.

Для порівняльного аналізу неотектонічної активності розломів (або їх ділянок) ми пропонуємо використовувати *індекс неотектонічного рейтингу* ( $R$ ), який розраховується за формулою:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} b_i k_i}{n}$$

де  $R$  - індекс неотектонічного рейтингу розлому,

$b_i$  - кількісна характеристика критерію неотектонічної активності;

$k_i$  - вага критерію;

$n$  - кількість критеріїв.

Для дослідження неотектонічно активних платформних розломів території України запропоновано 10 головних критеріїв визначення їх неотектонічного рейтингу. Це режими сучасних, четвертинних, неотектонічних рухів земної кори по розлому, сейсмічність, різниця значень швидкостей (градієнт) сучасних повільних тектонічних рухів земної кори, різниця сумарних амплітуд неотектонічних рухів земної кори на різних крилах розлому, середній градієнт швидкості неотектонічних рухів земної кори в зоні розлому, наявність геолого-геоморфологічних ознак активності розлому, час останньої активізації рухів по розлому, наявність додаткових (геохімічних, історичних) свідчень про сучасну активність розлому. Кількісні значення кожного критерію поділено на 3 класи, кожному з яких присвоюється бальне значення [10,14].

З метою усунення похибок, пов'язаних з неоднаковим ступенем впливу визначених критеріїв на тектонічну активність розломного порушення, в процесі розрахунку неотектонічного рейтингу застосовується визначений методом експертної

оцінки коефіцієнт ваги критерію, значення якого змінюється від 0,4 до 1,0.

Досвід розрахунку індексу неотектонічного рейтингу дає змогу обґрунтовано виділяти активні, помірно активні, слабо активні та неактивні розломні порушення в різних геодинамічних умовах [9].

### Висновки

Розломи земної кори є одними з найпоширеніших типів тектонічних структур у межах платформних територій. Неотектонічні активізації платформних розломів та вузлів їх перетину впливали на процеси геоморфогенезу, що відображено в будові рельєфу, рельєфоутворювальних відкладів та особливостях прояву рельєфоутворювальних процесів ендо- та екзогенної груп. Зв'язок неотектонічно активних платформних розломів з проявами сейсмічності, наявністю геофізичних, геохімічних, геоморфологічних аномалій ставить питання стосовно їх діагностики та дослідження активності в розряд актуальних завдань.

Відсутність прямих ознак зміщення порід, значних амплітуд рухів крил платформних розломів, а також недостатній рівень їх вивченості інструментальними методами потребує застосування комплексу геолого-геоморфологічних, геофізичних, геохімічних, картометричних, математичних, інструментальних, дистанційних методів і методичних прийомів.

Найефективнішим способом комплексного вивчення неотектонічно активних розломів платформних територій є застосування програмно-апаратних засобів ГІС, що дозволяє оперативне аналізувати різноманітні масиви даних, проводити моделювання та картографування.

У процесі створення ГІС неотектонічно активних розломів використовують ряд баз даних, що відрізняються за обсягом, форматом та способом

просторової організації елементів. Результуючою є база даних, яка містить паспортну інформацію про розлом та кількісні дані про його активність, отримані або уточнені внаслідок проведеного дослідження.

Найважливішими напрямками дослідження та картографування неотектонічно активних розломів є морфометричний, лінеаментний, неотектонічний аналіз, аналіз сучасної геодинаміки, що можуть бути представлені у вигляді окремих інформаційно-аналітичних блоків ГІС.

Особливістю ГІС неотектонічно активних розломів є можливість простеження їх відображення у морфології сучасного та давнього рельєфу, його морфометричних характеристиках, кількісних неотектонічних показниках та показниках сучасної тектонічної активності, що дає змогу підтвердити або заперечити неотектонічну активність відомих розломних порушень, визначити зони їх динамічного впливу, виділити нові порушення та провести їх ранжування за комплексом показників, визначити неотектонічний рейтинг.

У результаті морфоструктурно-неотектонічних досліджень створюють низку синтетичних картографічних моделей, зміст яких визначається завданнями дослідження. За допомогою ГІС неотектонічно активних розломів ми отримуємо ряд картографічних моделей, де на якісний фон, що відображає диференціацію аналітичних (морфометричних, неотектонічних) або синтетичних (геоморфологічних, геологічних, геофізичних) показників накладено шар лінійних або лінійно-площових об'єктів (розломів і розломних зон або їх відрізків), що, залежно від потреб користувача, можуть бути ранжовані за комплексом параметрів - кінематичними типом, достовірністю виділення, рангом, часом останньої активізації, сучасною тектонічною активністю, геодинамічним рейтингом.

### Література

1. Азімов О. Геоінформаційні технології у концепції створення узагальненої схеми обробки/інтерпретації даних дистанційного зондування Землі // Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. - Серія Географія. - 2010. - Вип.50. - С.37-40.
2. Арістов М.В. Прогнозування розломів та структурних вузлів Поділля за даними інтерпретації космічних знімків різного рівня генералізації // Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. - Серія Географія. - Вип. 47. - 2001. - С.28 - 30.
3. Дзеканюк А., Широков Д. Лидары против стихии (моделирование наводнений и паводков на основе высокоточных моделей местности // Геопрофиль. - 2009. - № 5(8). - С.44-47.
4. Курлович Д.М. Неотектонические структуры и неотектонически активные зоны Белорусского Поозерья // Вестник Белорусского государственного университета. - Сер.2. Химия. Биология. География. - 2010. - №2. - С. 99-105.
5. Лилиенберг Д.А., Сетунская Л.Е. Проблемы содержания, типологии и методики составления карт современных тектонических движений // Современные движения земной коры. Теория, методы, прогноз. - Москва: Наука, 1980. - С. 76-84.
6. Лилиенберг Д.А., Сетунская Л.Е. Морфоструктурное обоснование карт современных тектонических движений // Современные движения земной коры. Геолого-геоморфологические исследования. - Москва: Радио и связь, 1982. - С. 27-32.
7. Лунина О.В. Формализованная оценка степени активности разломов в плиоцен-четвертичное время (на примере Байкальской рифтовой зоны) // Геология и геофизика. - 2010. - № 4. - С. 525-539.
8. Морфоструктурно-неотектонічний аналіз території України (концептуальні засади, методи та реалізація) / за ред. В.П.Палиєнко. - Київ.: Наукова думка, 2013. - 263 с.
9. Наукові засади структурно-геоморфологічних і неотектонічних досліджень в зонах розломів платформної частини України / В.П.Палиєнко, Р.О.Спиця, М.Є Барщевський та ін. - 2010.- 163с. (деп. в ДНТБ України 15.03.2010 № 10 - Ук2010).
10. Общие принципы и подходы к изучению геоморфологических и неотектонических условий районов расположения атомных станций / В.П. Палиенко, Н.Е. Барщевский, А.Б. Островерх, Р.А. Спица // Рельеф среды жизни человека (Экологическая



- геоморфология) / отв. ред. Э.А.Лихачева, Д.А.Тимофеев. - Москва: Медиа-Пресс, 2002. - Т.1. - С.175-189.
11. Палиєнко В.П. Новейшая геодинамика и ее отражение в рельефе Украины.- Киев: Наукова думка, 1992.- 116 с.
  12. Палиєнко В.П., Спиця Р.О. Загальні положення морфоструктурно-неотектонічної ГІС для оцінки сучасної тектонічної активності структур // Україна та глобальні процеси: географічний вимір. - Т. 2.- 2000. – С. 133-136.
  13. Палиєнко В.П., Спиця Р.О. Використання показника активності розломних порушень для оцінки неогеодинамічного ризику // Просторовий аналіз природних і техногенних ризиків в Україні. Зб. наук. праць. - Київ, 2009.- С.32-36.
  14. Палиєнко В.П., Спиця Р.О. Концептуальні засади та принципи діагностики, паспортизації та ранжування неотектонічно активних розломів // Український географічний журнал. - 2009. - №2.- С.9-13.
  15. Ранцман Е.Я., Гласко М.П. Морфоструктурные узлы - места экстремальных природных явлений.- Москва: Медиа-ПРЕСС, 2004.- 224 с.
  16. Спиця Р.О. Структурно-геоморфологічний аналіз здвигової компоненти на території Волино-Подільської плити та Передкарпатського прогину // Український географічний журнал. – 1999. - №1.- С.37-41.
  17. Спиця Р.О. Дослідження із застосуванням ГІС-технологій динаміки неотектонічно активних структур приповерхневої частини літосфери в зонах прокладання трубопроводів // Український географічний журнал. - №3. – 2007. – С.20-25.
  18. Спиця Р.О. Геоінформаційне забезпечення вивчення рельєфу в зонах платформних розломів // Український географічний журнал. - №1. – 2013. – С.12-17.
  19. Karwel A. K., Ewiak I. Estimation of the accuracy of the SRTM terrain model on the area of Poland, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B7. Beijing 2008, pp. 169-172.
  20. Palienko V.P. Neotectonically active fractures in the territory of Ukraine // Літосфера, 1996. - №5.- С.94-99.

### References

1. Azimov O. (2010). GIS technology within the concept of general processing scheme creation (remote) Earth sensing interpretation. *Bulletin of the Kiev National University after Taras Shevchenko. Geography Series.* Issue 50, 37-40.
2. Aristov M.V. (2001). Prediction of faults and structural units in Podillia according to the data interpretation of satellite images with different generalization levels. *Bulletin of the Kiev National University after Taras Shevchenko. Geography Series.* Vol. 47, 28 - 30.
3. Dzekanyuk A., Shirokov D. (2009). Lidars against Nature elements (modeling of floods based on high-precision terrain models. *Geoprofil, 5 (8), 44-47.*
4. Kurlovich D.M. (2010). Neotectonic structures and neotectonic active zones in Belarusian Lakelan. *Bulletin of Belarusian National University. Series 2. Chemistry. Biology. Geography, 2, 99-105.*
5. Lilienberg D.A., Setunskaya L.Ye. (1980). Problems of content, typology and methods of modern tectonic movements mapping. *Contemporary crustal movements. Theory, methods, prognosis.* Moscow: Nauka, 76-84.
6. Lilienberg D.A., Setunskaya L.E. (1982). Morphostructural explanation of modern tectonic movements maps. *Contemporary crustal movements. Geological and geomorphological studies.* Moscow: Radio and communication, 27-32.
7. Lunina O.V. (2010). Formalized assessment of faults activity in Pliocene-Quaternary period (on the example of Baikal rift zone. *Geology and geophysics, 4, 525-539.*
8. *Morphostructural-neotectonic analysis of Ukraine territory (conceptual principles, methods and implementation).* Under ed. of V.P. Palienko (2013). Kyiv: Naukova Dumka.
9. *Scientific principles of structural-geomorphological and neotectonic studies in the areas of platform faults in Ukraine.* V.P. Palienko, R.O. Spytza, M.E. Barshechsky et al. (2010). (Dep. in Ukraine DNTB 15.03.2010 № 10 - Uk2010).
10. Palienko, N.Ye. Barshechsky, A.B. Ostroverkh, R.A. Spytza (2002). *Human environment landscape (ecological geomorphology).* Chief ed. E.A. Lihacheva, D.A. Timofeev. Moscow: Media-Press. Volume 1, 175-189.
11. Palienko V.P. (1992). *Modern geodynamics and its reflection in Ukraine terrain.* Kiev: Naukova Dumka.
12. Palienko V.P., Spytza R.O. (2000). General principles of morphostructural-neotectonic GIS for current tectonic structures activity assessment. *Ukraine and global processes: the geographical dimension.* V. 2, 133-136.
13. Palienko V.P., Spytza R.O. (2009). Using fault activity violations indicator for neogeodynamic hazard assessment. *Spatial analysis of natural and technological hazards in Ukraine.* Scientific work collection. Kyiv, 32-36.
14. Palienko V.P., Spytza R.O. (2009). Conceptual basis and diagnostics, certification and neotectonic active faults ranking principle. *Ukrainian geographical journal, 2, 9-13.*
15. Rantsman E.Y., Glasko M.P. (2004). *Morphostructural units - extreme natural phenomena sites.* Moscow: Media-Press.
16. Spytza R.O. (1999). Structural and geomorphological analysis of the shift component on the territory of Volyn-Podolsk plates and Ukrainian Carpathian bend. *Ukrainian geographical journal, 1, 37-41.*
17. Spytza R.O. (2007). Research of active tectonic structures dynamics within the lithosphere surface part of the pipelines laying areas with the use of GIS technology. *Ukrainian Geographical journal, 3, 20-25.*
18. Spytza R.O. (2013). Geographic information provision of the terrain studies within the areas of platform faults. *Ukrainian Geographical journal, 1, 12-17.*
19. Karwel A.K., Ewiak I. (2008). Estimation of the accuracy of the SRTM terrain model on the area of Poland. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.* Vol. XXXVII. Part B7, 169-172.
20. Palienko V.P. (1996). Neotectonically active fractures in the territory of Ukraine. *Lithosfera, 5, 94-99.*