

## ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПРЯМИХ МЕТОДІВ ГЕОДИНАМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ В УМОВАХ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА І ЗАКАРПАТТЯ

### *Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з науковими і практичними завданнями*

Завдяки проведенню систематичних комплексних ландшафтних, геохімічних, геофізичних досліджень на території південної частини Полісся, яка охоплювала Ірпінь-Буча-Ворзельську рекреаційну зону (ІБВРЗ) у 1995–2003 рр. (у геологічному відношенні це Росинсько-Тикицький геоблок Українського щита (УЩ)), а також Передкарпаття (1995–2000 рр.) була розроблена раціональна методика екогеофізичних досліджень. Ця методика була застосована у 2007 році на Закарпатському геодинамічному полігоні (зона зчленування Складчастих Карпат і Закарпатського прогину). Ці дослідження показали ефективність застосованих методів щодо виділення геодинамічних зон. Стаття присвячена порівнянню результатів цих досліджень у різних геологічних ситуаціях і тектонічних режимах.

### *Аналіз досліджень і публікацій, присвячених вирішенню цієї проблеми*

Ефективність методу структурно-геодинамічного картування (СГДК) щодо встановлення просторових характеристик геодинамічних зон ґрунтується на особливостях процесів, які відбуваються в цих зонах та стану гірських порід у них. Аномально напружений стан порід, різноманітні деформаційні зміни, дезінтеграція, локальні зміни літологічного складу відповідно спричиняють зміну фізичних властивостей і фізичних полів. Тому, як і справедливо було вказано у [1–3], геофізичні методи (гравітаційні, магнітні та ін.) дають змогу відшукувати границі блоків гірських порід, встановлювати їхні просторові характеристики тощо. Це положення було покладено авторами в основу геофізичного комплексу [4, 5], який довів свою успішність щодо оконтурення геодинамічних зон у межах глибокопохованих ділянок фундаменту.

Досить вагоме місце в цих дослідженнях займають еманайні і газові методи, з огляду на підвищене газовиділення геодинамічних зон, особливо в періоди тектонічної активності [1]. Застосування еманайних методів у комплексі із СГДК дає змогу ефективно розв'язувати геолого-технічні задачі. Як приклад можна навести геодинамічні дослідження на Ангренському буровугільному родовищі (Узбекистан) [6], де подібним комплексом досліджувалися площі підземної газифікації вугілля, і за від'ємними аномаліями торону і максимумами

радон-торонового відношення в атмогеохімічному полі було виявлено положення геодинамічних зон на цій площі.

У межах Українського щита (Кальміуська зона розломів та зона зчленування Донбасу з Приазовським блоком УЩ) спосіб СГДК-А у комплексі з газовим зніманням широко використовувався при пошукових роботах на флюорит [7]; вивчення неотектонічної активності і проникності тріщинних структур гранітного масиву Кам'яні Могили [8] за допомогою детального дешифрування крупномасштабних структур з подальшим завірянням СГДК-А і газовим зніманням на  $\text{CO}_2$ .

### *Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми*

На основі теоретичних розробок «геотектонічних ґраток» Г.Л. Поспелова, у роботі [6] для ряду тріщинних структур встановлена їх полімасштабність, що означає співіснування самостійних ґраток тріщинуватості з різним кроком між тріщинними зонами і тріщинами – від десятків і сотень кілометрів до декількох метрів. Тому існує потреба встановлення, бажано у кількісних оцінках, спільності чи інваріантності полімасштабності тріщинних (тектонічних) структур у різних геолого-тектонічних обстановках (УЩ, Закарпаття).

На основі результатів досліджень [7] була запропонована модель відносного контролю глибинними геодинамічними структурами місць виносу рудних розчинів, які, до того ж, формують зони дроблення і тріщинуватості в осадовій товщі, котрі є сприятливим чинником для міграції розчинів. Петромагнітний вигляд порід цих зон, кількісні і якісні характеристики мінералів-носіїв магнетизму, особливості геомагнітного поля, а також тип і інтенсивність еманайних проявів є важливими аспектами при геодинамічних дослідженнях, чому і буде приділено особлива увага.

### *Методика досліджень*

Основою розробленого комплексу є метод структурно-геодинамічного картування – азимутальний варіант (СГДК-А), який забезпечує виявлення азимутальних неоднорідностей електричних властивостей порід фундаменту і дає змогу визначити і проаналізувати динаміку осей зон неоднорідностей. Метод СГДК-А ґрунтується на безпосередній реєстрації збурення електричного поля, спричиненого різноманітними ефектами, у тому числі під час підготовки геодинамічних явищ



[2, 3], тому ми можемо спостерігати відмінності у фігурах анізотропії електропровідності в енергоактивних зонах порівняно з фоновими умовами. Для спокійних, незбурених ділянок земної поверхні характерна чотирипроменева астероїда 12-канальної азимутальної форми електропровідності, де напрямки променів астероїди, як правило, збігаються з широтними і меридіональними азимутами. Під впливом динамічних чинників – тектонічних, фізико-хімічних, потоків підземних вод, різноманітних техногенних чинників – відбувається деформації розподілу електропровідності в азимутальній площині, за формою якої можливо встановити простягання геодинамічної зони, азимут і кут падіння [2]. Отже, встановлена методом СГДК-А анізотропія електричних властивостей порід передає наявність мікротреморів, зміну фізичних властивостей і електромагнітних характеристик у приповерхневому шарі і відображає пов'язаність геодинамічних зон з тектонікою [2, 3].

За результатами дослідно-методичних робіт на геоекологічному полігоні «Бучанський» ІБВРЗ (УЩ), для впевненої фіксації геодинамічних зон, крок спостережень на геофізичному профілі необхідно вибирати в межах 1/10–1/15 від ширини геодинамічної зони, яка встановлюється. Щоправда, при цьому будуть фіксуватися дрібні, локальні неоднорідності неглибинної природи (зсуви, мікро-зсуви, дренажні системи, трубопроводи, кабелі тощо), тому у цьому випадку необхідно проводити ретельний перебір аномалій СГДК-А на предмет виявлення геодинамічних зон глибинного походження. Для цього варто залучати різноманітні способи вивчення ландшафтно-геоморфологічної будови досліджуваної території. Так, при роботах на ГЕК «Бучанський» методом СГДК-А було встановлено декілька систем геодинамічних зон, які тією чи іншою мірою корелювалися із геоморфологічними умовами (рис. 1): перша система була добре виражена в рельєфі і приурочена до найнижчих місць рельєфу; друга – досить чітко простежувалася за осями яружно-балочної системи; третя система не мала явного зв'язку з геоморфологією чи гідрографічним рисунком. Отже, за ландшафтно-геоморфологічними особливостями території можна встановити основні риси поверхні фундаменту у зв'язку з характером та інтенсивністю перебігу неотектонічних процесів, блокової будови фундаменту тощо.

Супровідний емансійний метод при цих дослідженнях забезпечує вимірювання питомої активності радону і торону у зв'язку з розподілом їх носіїв та їх динамікою.

Крім цих методів бажано використовувати і метод мікроелектрозондування (МЕЗ). Дані МЕЗ

дають змогу встановлювати морфологію і простягання зон порушень верхньої частини розрізу (ВЧР) як резонаторної області геодинамічних глибинних процесів та мікротреморів.

### Основна частина

Характерними геологічними особливостями порівнюваних об'єктів є такі. За ландшафтно-геоморфологічними ознаками ІБВРЗ (УЩ) має успадкованість у рельєфі поверхні осадового чохла блокової структури фундаменту з його характерною мозаїчною структурою поверхневих відкладів. Глибина до корінних порід фундаменту становить близько 200 м. Структури фундаменту, що складені дислокованими докембрійськими породами, представлені різновіковими різноформаційними утвореннями, перетинаються розломами північно-західного, субширотного і субмеридіонального напрямків [9]. З останнім пов'язана широка зона катаклизмованих порід, що поширена на схід від м. Ірпінь. Верхній структурний поверх складений морськими осадовими породами мезозою (глибина залягання 100–200 м без виходу на денну поверхню) і континентальними утвореннями палеогену, неогену та антропогену.

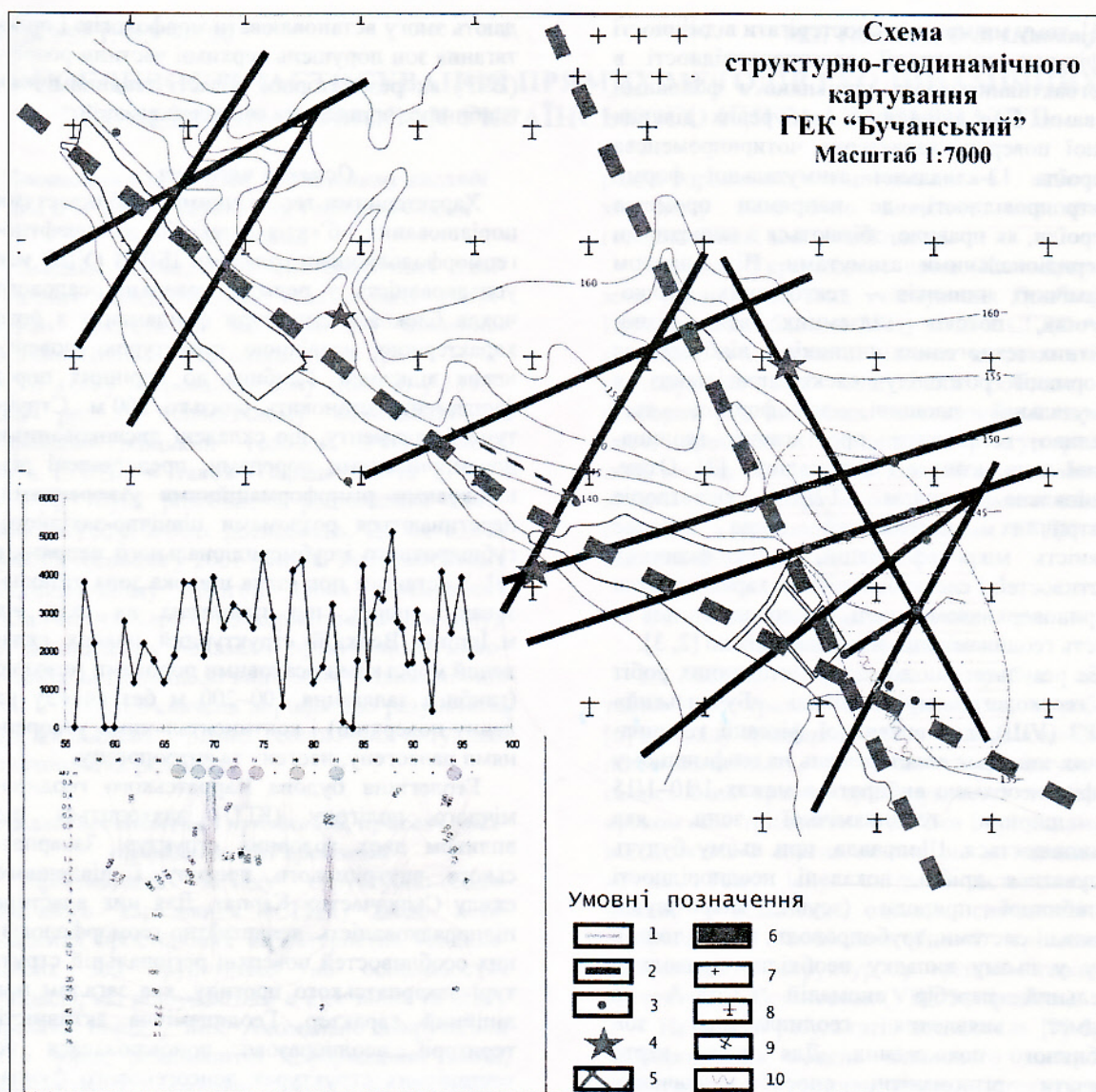
Геологічна будова Карпатського геодинамічного полігону (КГП) знаходиться під впливом двох головних структур: Закарпатського внутрішнього прогину і південного схилу Складчастих Карпат. Для них властива підпорядкованість ландшафтно-геоморфологічних особливостей поверхні регіональній структурі Закарпатського прогину, яка загалом має лінійний характер. Геодинамічна активність території неодноразово поновлювалася по тектонічних структурах донеогенового фундаменту і зумовлена переважно поведінкою Закарпатського глибинного розлому як основного енергетичного джерела тектонічних рухів.

З порівняльного аналізу отриманих даних випливають такі висновки.

1) *Простежується успадкованість у рельєфі тектонічних структур фундаменту.* Усім типам геодинамічних зон, встановлених СГДК, від-повідають (у першому наближенні) тектонічні структури фундаменту. Для ІБВРЗ – геодинамічні зони фіксуються у рельєфі осями простягань і перетинів гідрографічної і яружно-балочної систем; для КГП будова донеогенового фундаменту характеризується наявністю великих поздовжніх і поперечних диз'юнктивних порушень вертикального і субвертикального падіння; поперечні порушення іноді мають вигляд скидів-зсувів [10]);

2) *Щільність виділених аномалій СГДК на профілі чітко визначає положення головних тектонічних структур, а векторний аналіз показує напрямок їх простягання і падіння.*





**Рис. 1.** Схема проведення комплексного геофізичного моніторингу на території ГЕК «Бучанський» ІБВРЗ:

1 – ізолінії висот, 2 – геодинамічні зони СГДК-А, 3 – аномалії СГДК-А, 4 – аномальні радонопрояви, 5 – ділянки з підвищено-фоновими концентраціями радону у ґрунтовому повітрі, 6 – тектонічні порушення, 7 – поле розвитку гранодіоритів росинсько-тікицької серії, 8 – поле розвитку гранітів біотитових і плагіогранітів юр'ївського комплексу, 9 – поле розвитку діоритів звенигородського комплексу, 10 – профіль «26», що винесений на діаграму МЕЗ (зверху – еманційний профіль, знизу – ізолінії питомого електричного опору ВЧР, сірі кружечки – аномальні вмісти радону у ґрунтовому повітрі)

Досить часто встановлюється наявність двох генерацій геодинамічних зон. У межах ІБВРЗ ортогональне розташування двох типів геодинамічних зон фіксує міжблокові границі і зони кристалічного фундаменту. Для КГП виділені геодинамічні зони двох генерацій є проявами різної за часом і характером діяльності розривної тектоніки – початкової стадії інтенсивного занурення прогину з утворенням зон дроблення, поперечних розломів, та подальшого занурення з інтенсивними різноспрямованими рухами великої амплітуди

всередині прогину [11]).

3) Приуроченість еманційних аномалій до вузлів перетину осей азимутальної неоднорідності електропровідності. Аномальні концентрації радону узгоджуються з інтенсивними та активними геодинамічними зонами глибокого закладення і великими кутами падіння. Мікроблокова будова кристалічного фундаменту ділянок, спричинена поєднанням головних і другорядних геодинамічних зон (ІБВРЗ), локальні депресійні ділянки з малопроникним осадовим покривом (ЗГП) не



сприяють появі аномальних значень радону і зумовлюють розсіювання радону з формуванням підвищених фонових значень еманції.

Для КГП аномальні ділянки, виявлені методом СГДК, переважно мають мінімуми магнітного поля, які є якісним показником неоднорідності, розуцільненості, подрібленості фундаменту, розриву суцільності в покривних відкладах (рис. 2).

У ряді еманційних аномалій виявляється різна природа еманування: суттєво радонова (геодинамічні зони північно-східного простягання з кутами падіння  $40-60^\circ$ ) та змішана –

радон-торонова (характерна для вузлів перетину геодинамічних зон декількох генерацій).

Виконане мікрорайонування ділянок досліджень ґрунтувалося на таких критеріях: по-перше, на наявності чи відсутності зв'язку між аномаліями СГДК-А та радонопроявами; по-друге, на конфігурації ореолів розсіювання радону. Основні фактори розподілу радону – просторове положення головних геодинамічних зон, наявність дрібних зон порушень, розриви суцільності кристалічного фундаменту з їх тяжінням до локальних понижень рельєфу тощо.

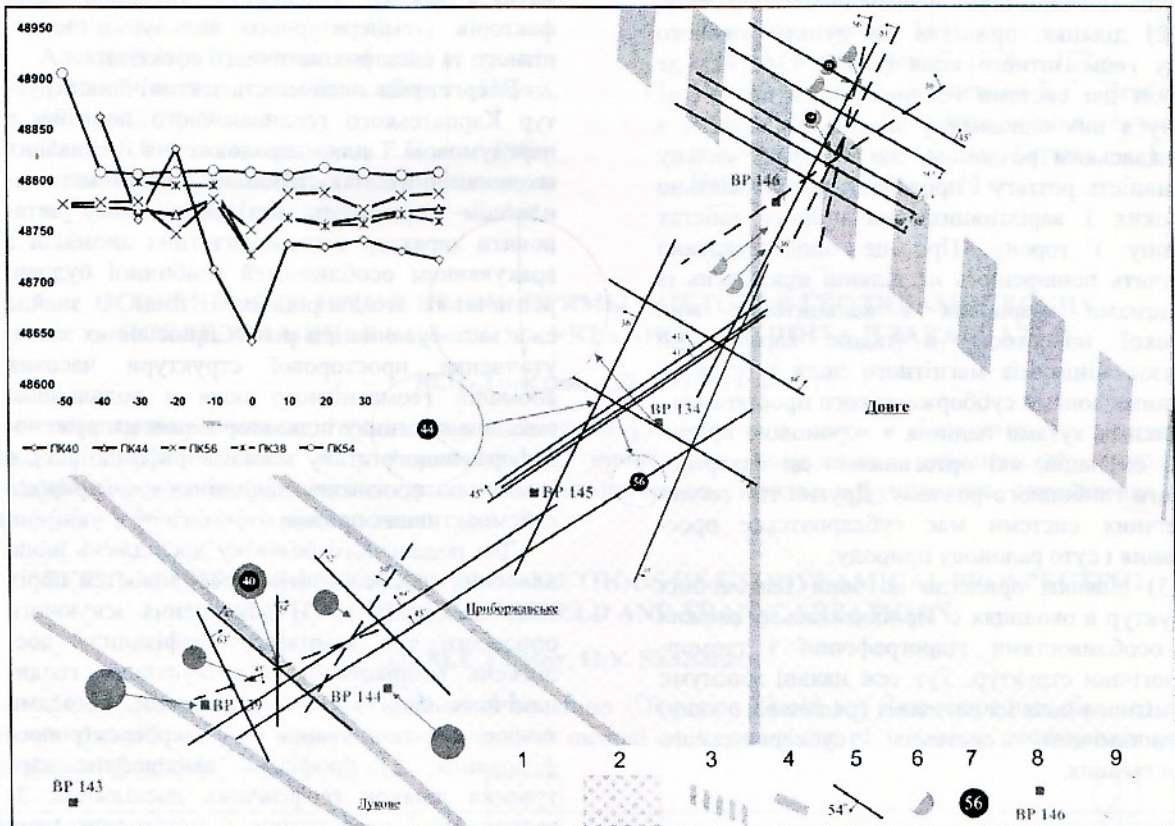


Рис. 2. Схема проведення комплексного геофізичного моніторингу на території Закарпатського геодинамічного полігону (фрагмент профілю «Довге»):

1 – Пенінська зона, 2 – Вигорлат-Гутинське вулканічне пасмо, 3 – Закарпатський глибинний розлом, 4 – тектонічні структури донеогенового фундаменту, 5 – реконструйовані за даними СГДК-А основні (суцільна лінія) та накладені (пунктирна лінія) геодинамічні зони з напрямком та кутом падіння, 6 – питома активність еманцій у ґрунтовому повітрі нижча за чутливість приладу (еманометр радону PPA-01), 7 – геофізичний пікет, де виконувалися магнітометричні спостереження, 8 – пункти вікового ходу геомагнітного поля, 9 – результати еманційних вимірювань (відносна величина кола пропорційна зареєстрованій питомій активності еманцій у ґрунтовому повітрі, біле поле – частка питомої активності еманцій радону, цеглинками – торону).

По-третє, наявність чи відсутність зон високих і підвищених градієнтів уявного електричного опору в верхній частині розрізу, які встановлюються методом мікроелектрондування. Наявність диференційованості розподілу питомого електричного опору у верхній

частині розрізу передає всю складність напруженої геодинамічної ситуації в кристалічному фундаменті (рис. 1). Як наслідок блоковості будови кристалічного фундаменту УЩ, на території ІБВРЗ комплексом методів виокремлюються дві ділянки, відмінні за тек-



тонічною будовою і геодинамічною активністю.

Попередній аналіз даних на КГП теж показує неоднорідність у будові фундаменту (рис. 2), де можна виділити три ділянки, які відрізняються за конфігурацією геодинамічних зон і характером емановиділення:

1) прилегла ділянка до зони Закарпатського глибинного розлому, яка фіксується серією геодинамічних зон із спільним субкарпатським простяганням, але контрастними напрямками падіння з близькими кутами падіння (від  $45^\circ$  до  $57,5^\circ$ ), що може вказувати на неоднорідну структуру самого розлому. Для всіх геодинамічних зон характерні субфонові вмісти радону;

2) ділянка, прилегла до пункту вікового ходу геомагнітного поля (ПВХ) 134 [11], де наявні дві системи геодинамічних порушень. Одну з них однозначно можна пов'язувати з Боржавським розломом, що проявляє сильну активність розтягу і проявляється в аномально високих і варіативних еманацийних вмістах радону і торону. Про це опосередковано свідчить поширеність на ділянці відслонень із системами кварцових і кальцитових жил високої пористості, а також характерний зв'язок мінімумів магнітного поля з геодинамічними зонами субборжавського простягання і великими кутами падіння з торонною природою еманаций, які ортогональні до Закарпатського глибинного розлому. Другий тип геодинамічних системи має субкарпатське простягання і суто радонову природу;

3) ділянка, прилегла до зони тектонічних структур в околицях с. Приборжавське, схожих за особливостями гідрографічної і геоморфологічної структур. Тут теж наявні мінімуми магнітного поля на активних (радонового типу) геодинамічних системах субкарпатського простягання.

### Висновки

Ефективність застосування описаного комплексу методів ґрунтується на різній інформативності введених до нього методів і залежить від задач і об'єктів досліджень. Структурно-геодинамічне картування, радонове знімання визначають глибинні джерела геодинамічної активності; тоді як МЕЗ і суто торонова природа еманаций зумовлюються поверхневими джерелами.

Для території Карпатського геодинамічного полігону своєрідне поєднання геодинамічних зон із еманацийною активністю є свідченням взаємозв'язаності системи тектонічних розломів, яка підпорядкована головній геоструктурі – Закарпатському глибинному розлому. До речі, повторні прецизійні нівелювання цього регіону встановили відмінності у швидкостях вертикальних і розтягувальних горизонтальних напружень [11], що створює диференціації у

деформаціях земної поверхні на цій території і є передумовою до підживлення активності тектонічних структур. Активні крупні геоструктури (Закарпатський, Боржавський глибинні розломи) в умовах горизонтального розтягу неодноразово поновлюють свою динаміку, створюючи або розмитий еманацийний фон, або, в областях спряження з трансформними розломами, аномальні прояви змішаної радон-торонної еманацийної природи. Активність геодинамічних зон фіксується мінімумами магнітного поля, що виникають тут внаслідок хімічних перетворень мінералів-носіїв магнетизму в породах фундаменту та низкою інших факторів (температурного впливу, п'єземагнітного та електрокінетичного ефектів).

Енергетична насиченість тектонічних структур Карпатського геодинамічного полігону є передумовою для продовження тривалих геодинамічних спостережень обраним комплексом досліджень, що дасть змогу встановити характер тектономагнітних аномалій з врахуванням особливостей глибинної будови, речовинних неоднорідностей тощо і знайде своє застосування для різних прикладних задач: уточнення просторової структури часових аномалій геомагнітного поля з подальшим виходом на оцінку індикаторів змін напружено-деформованого стану земної кори тощо [11], а також прогнозу оцінку природи сейсмаактивних проявів.

Для подальшого розвитку досліджень щодо вивчення сейсмамагнітних особливостей порід КГП доцільним є: 1) доповнення існуючого описаного тут комплексу геофізичних досліджень вибірковими (з врахуванням геодинамічних даних) спостереженнями методами мікроелектрозондування і мікроелектропрофілювання; 2) профільне ландшафтне картування ділянок геофізичних досліджень; 3) геодинамічні дослідження в моніторинговому режимі (не менш як дво-трикратні); 4) всебічне вивчення петрофізичних властивостей гірських порід, насамперед – петромагнітних.

### Література

1. Басанцева М.Е., Воевода Б.И. Необходимость геодинамического картирования территорий для обеспечения устойчивого развития регионов // Збірник доповідей I Міжнародної наукової конференції аспірантів та студентів "Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів". – Т. 2. – 2002. – С. 116–117.
2. Панов Б.С., Рябоштан Ю. С., Трахтамиров Е.П. и др. О новом методе структурно-геодинамических исследований // Сов. геология. – 1984. – № 1.
3. Панов Б.С., Трахтамиров Е.П. Новое в



- геолого-геофизических исследованиях. // Изв. ВУЗов. Геология и разведка. – 1993. – № 3.
4. Толстой М.И., Шабатура О.В. Онищук И.И., Бичок В.Д. Вивчення неогеодинамічних особливостей порід фундаменту за даними екогеофізичних досліджень // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2002. – № 2. – С. 40–45.
  5. Толстой М.И., Шабатура О.В. Онищук И.И., Бичок В.Д. Неогеодинамічні особливості порід кристалічного фундаменту природного заказника “Жуків Хутір” за даними екогеофізичних досліджень // Вісник “Геологія”. – 2003. – № 25. – С. 64–68.
  6. Алехин В.И. Проблемы общей и региональной геологии. – Новосибирск: Наука, 1971. – С. 33–36.
  7. Панов Б.С., Трахтамиров Е.П., Рябоштан Ю.С., Алехин В.И. Осадочные породы и руды. – Киев: Наук. думка, 1980. – С. 101–111.
  8. Алехин В.И., Пристинская М.В., Тобиаш В.Э., Койнаш П.В. Наукові праці Донецького державного технічного університету. Серія гірничо-геологічна. – Донецьк: ДонДТУ. – 2002. – Вип. 45. – С. 107–112.
  9. Геолого-радиологическое картирование масштаба 1:100000. Отчет партии геолого-экологических исследований за 1989-1997 гг. / В.П. Дудкин, Т.М. Егорова, А.А. Ващенко, Н.В. Беспалый и др. / Титул 632189. – К.: ГГП “Севукргеология”, 1997.
  10. Геохимия, петрофизика и вопросы генезиса новейших вулканитов Советских Карпат // Под ред. проф. М.И. Толстого. – Киев: Изд. об. “Вища школа”, 1976. – 192 с.
  11. Максимчук В.Ю., Кузнецова В.Г., Вербицкий Т.З. та ін. Дослідження сучасної геодинаміки Українських Карпат. – Київ: Наук. думка, – 2005. – 256 с.

### **ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЯМЫХ МЕТОДОВ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В УСЛОВИЯХ УКРАИНСКОГО ЩИТА И ЗАКАРПАТЬЯ**

**М.И. Толстой, А.В. Шабатура**

На примере разных геологических ситуаций (Украинского щита и Закарпатского прогиба) показаны эффективность и информативность применения комплекса геофизических методов геодинамического направления для выявления тектонических структур в фундаменте, определения их динамики и прогнозного применения.

### **PECULARITIES OF APPLICATION OF METHODS OF GEODYNAMICAL PROSPECTING WITHIN UKRAINIAN SHIELD AND TRANSCARPATHIAN**

**M.I. Tolstoy, O.V. Shabatura**

On the examples of various geological situations (Ukrainian Shield and Transcarpathian flexure) are shown the efficiency of applying of geophysical method as to searching of tectonics, geodynamics and geological prognosis.