

## ПІДСУМКИ БАГАТОРІЧНИХ ТЕКТОНОМАГНІТНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У КАРПАТАХ

Приведені основні результати використання тектономагнітних досліджень для рішення задач сучасної геодинаміки і прогнозу землетрусів в Карпатському регіоні.

**Ключові слова:** п'єзомагнетизм; електрокінетика; провісники землетрусів; аномалія.

Тектономагнітні дослідження як один з напрямків геомагнетизму сформувався в 1960-х роках, коли вперше Т.Нагатою був запропонований термін "тектономагнетизм".

Тектономагнетизм вивчає часові зміни аномального магнітного поля, які обумовлені сучасними геодинамічними і фізико-хімічними процесами в літосфері Землі. Численні лабораторні, експериментальні і натурні дослідження довели, що до причин, які можуть обумовити виникнення тектономагнітних аномалій, відносяться: зміна напружено-деформованого стану гірських порід (п'єзомагнітний ефект); зміна температури гірських порід у природних умовах, виникнення електричних струмів (електрокінетичні, термоелектричні струми); геохімічні перетворення природних ферромагнетиків, та інші [Максимчук В.Ю. та ін., 2001]. Зміни напружено-деформованого стану гірських порід є найбільш вагомим і потужним чинником, оскільки вони приводять до змін швидкості протікання різноманітних фізико-хімічних процесів в земній корі і є причиною змін не лише магнітних параметрів порід і мінералів, але також викликають виникнення варіацій електричних струмів.

Тектономагнітні дослідження були започатковані в 1967 році Львівським філіалом Інституту геофізики в сейсмоактивному Закарпатському прогині на території Карпатського геодинамічного полігону і продовжуються регулярно до даного часу, майже 45 років. Територія сейсмоактивного Закарпатського прогину, для якого характерна помірна сейсмічність, контрастність сучасних і новітніх рухів земної кори, аномальний тепловий потік і аномалія електропровідності фактично є природною лабораторією, де можливо вивчати в натурних умовах процеси, які відбуваються в надрах цього тектонічноактивного на сучасному етапі регіону.

Методика і технологія геомагнітного моніторингу базується на диференціальній методиці спостережень на спеціально створеній мережі пунктів або стаціонарних (режимних) станцій і дозволяє виділяти тектономагнітні аномалії на фоні широкого спектру геомагнітних варіацій як зовнішнього так і внутрішнього походження. Частота опитування і щільність мережі повторних спостережень обумовлюється задачами досліджень та геолого-геофізичними умовами району робіт. В даний час використовуються сучасні протонні магнітометри типу МВ-01 з чутливістю

0,1 нТл, які дозволяють достовірно виділяти аномальні ефекти від 1 нТл.

В процесі досліджень створена методика, алгоритми і програмне забезпечення обробки та інтерпретації результатів геомагнітних спостережень, що дозволяє визначати параметри джерел тектономагнітних аномалій і їх можливу природу.

Результати багаторічних робіт базуються на двох типах геомагнітного моніторингу:

1 - періодичні повторні **дискретні** спостереження на спеціально створеній мережі пунктів для рішення наступних геологічних задач:

- картування активних геологічних неоднорідностей (зони глибинних розломів, аномальної електропровідності і флюїдинамики);

- вивчення особливостей блокової структури літосфери на основі виділення блоків з ідентичним тектономагнітним сигналом;

- вивчення сучасної тектонічної активності окремих розломів в місці розташування крупних енергетичних (АЕС) і промислових споруд.

2 - режимні **неперервні** високоточні геомагнітні спостереження на стаціонарних станціях і пунктах для вивчення аномальних змін геомагнітного поля, зумовлених:

- сеймотектонічними процесами (провісники землетрусів);

- різними антропогенними явищами техногенного характеру.

Нижче приведені основні результати тектономагнітних досліджень в Карпатах. [Максимчук В.Ю. та ін., 2005].

**Дискретні** площівні і профільні спостереження:

1. За даними площівних Т-зйомок на мережі зі 100 пунктів на протязі 5 років (1976-1981 рр.) складені карти річних і сезонних змін аномального магнітного поля. Виділені часові ізометричні аномалії  $\Delta T$  з річними змінами 3-5 нТл в зонах поширення магнітних комплексів порід, що свідчить про їх п'єзомагнітну природу. Зафіксована лінійна аномальна зона  $\Delta T$  з річними змінами 5-7 нТл/рік, яка, розташована вздовж зони Закарпатського глибинного розлому і, очевидно, пов'язана з зоною Карпатської аномалії електропровідності. За цими даними були визначені зони - індикатори змін напружено-деформованого стану земної кори, де пізніше були організовані неперервні режимні спостереження.

2. На основі десятирічних повторних дискретних Т-зйомок (1976-1986 рр.) по 2-х геодина-



мічних профілях були побудовані часові ряди річних значень  $\Delta T$  і виділені блоки земної кори, які розділялися розломами донеогенового фундаменту прогину. Був зроблений висновок про існування індивідуального "тектономагнітного відгуку" на локальні зміни напружено-деформованого стану порід у межах окремих блоків складно-побудованого, гетерогенного фундаменту прогину.

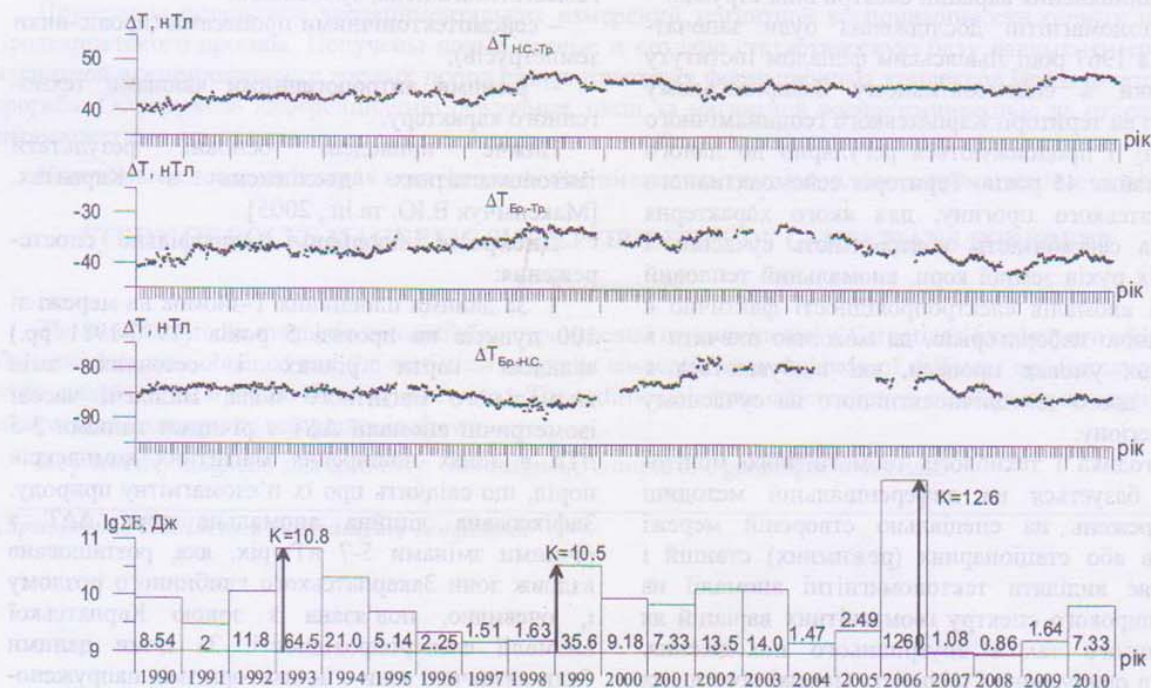
3. Проведені детальні тектономагнітні зйомки на 2-х геодинамічних профілях (1991-1997 рр.). Профіль I вздовж карпатської частини геотраверсу П, профіль II – у Солотвинській западині. На профілі I встановлено, що північна, крайова зона Закарпатського прогину, яка примикає до сейсмоактивного Закарпатського глибинного розлому, розташована на території більших сучасних деформацій, ніж центральна і південна, що виражається у наявності на цій ділянці тектономагнітних аномалій до  $\pm 5$  нТл. На профілі II виявлені аномальні ефекти від +2,5 до -1,0 нТл, які розташовані в межах розломних зон до неогенового фундаменту і найвірогідніше пов'язані з флюїдодинамічними процесами у тріщинуватих породах цих розломів [Кузнцова В.Г. та ін., 2001].

**Режимні** неперервні цілодобові спостереження виконуються на полігоні на 4-х станціях: "Н.Селище", "Тросник", "Брід", "Берегове". Середньоквадратичне відхилення ( $\sigma$ ) поля для пари  $\Delta T_{НС-Тр}$  складає від 0,36 до 0,42 нТл, а для інших пар  $\Delta T$  значення  $\sigma$  не перевищує 1,0 нТл.

1. На основі сумісного аналізу часових рядів середньодекадних значень  $\Delta T$  між парами станцій,

починаючи з 1990 р. і змін величини сумарної річної сейсмічної енергії в Дж виділені довготривалі квазілінійні зміни  $\Delta T$ , які в часі співпадають з періодами сейсмічного затишшя (рис.1). Виділені три такі періоди: 01.1990 – 02.1993 зміна  $\Delta T$  до 4 нТл; 2 – 11.1996-01.1999 зміна  $\Delta T$  до 7 нТл; 3 – 03.2004-02.2006 зміна  $\Delta T$  до 5 нТл. Ці зміни  $\Delta T$  передували досить сильним для цього району місцевим землетрусам: 1- 1.03.1993 р.,  $K = 10,8$  (Словацькі Beskidy); 2 – 04.01.1999,  $K = 10,5$  (Північна Румунія, м.Холмеу); 3 – 23.11.2006 р.,  $K = 12,6$  (біля м.Берегове) [Кузнцова В.Г. и др., 2005].

2. Враховуючи дані про магнітні властивості порід та геологічні уявлення про розміри блоків Вигорлат-Гутинського пасма зроблено кількісні оцінки тектонічних напружень, що могли викликати квазілінійні зміни  $\Delta T$  перед землетрусом 04.01.1999 р. Як показали розрахунки, зміни поля  $\Delta T$  до 7 нТл обумовлені змінами намагніченості на 0,004-0,005 А/м, що може бути пов'язано зі змінами напружень на 50 бар. Величина накопиченої пружної енергії, яка відповідає таким змінам напружень лежить в інтервалі  $10^{10} - 10^{11}$  Дж, що в межах порядку співпадає з виділеною сейсмічною енергією від землетрусу 04.01.1999 р. Отже, в квазілінійних змінах  $\Delta T$  відобразилося накопичення пружної енергії в період сейсмічного затишшя, тому їх слід розглядати як провісники підвищення сейсмічної активності в регіоні.



**Рис. 1.** Співставлення часового ходу середньодекадних значень різницевого поля  $\Delta T$  між станціями зі змінами величини сумарної річної сейсмічної енергії ( $\Sigma E \times 10^9$  Дж).



3. На основі аналізу часових рядів середньодобових значень  $\Delta T$  між парами станцій виділяються локальні часові аномалії  $\Delta T$ . Ці епізодичні зміни поля  $\Delta T$  в деяких випадках мають форму класичних бухтоподібних аномалій провісничого типу, інтенсивність 1-5 нТл, тривалість від 30 днів до 3-4 місяців і в часі корелюють з місцевими землетрусами.

4. Крім бухтоподібних аномалій провісничого типу завдяки підвищенню точності режимних спостережень та оптимальній методиці обробки даних в останні роки виділені інші типи аномалій – можливих провісників землетрусів: різкі зміни рівня поля, підвищена дисперсія поля  $\Delta T$  протягом 5-15 діб.

5. Далеко не всі локальні аномальні ефекти, а іноді і більш довготривалі аномальні зміни поля  $\Delta T$  мають відношення до сейсмічних подій. Деякі з них корелюють зі змінами метеорологічних параметрів і мають сезонний характер.

Ефективність і геологічна інформативність тектономагнітних досліджень була підтверджена нашими дослідженнями в інших регіонах.

**Терсько-Каспійський прогин.** В 1986-1992 рр. виконано регіональні дослідження на 4-х профілях (довжина кожного до 120 км.). По морфології часових змін на кожному пункті уточнені границі літосферних блоків, виділених за даними ГСЗ, які добре узгоджуються з гравиметрією і результатами повторного нівелювання. Максимальні значення часових змін (до 10 нТл/рік) спостерігаються у Терській нафтогазоносній зоні.

**Передкарпатський прогин.** За результатами тектономагнітних досліджень визначена сучасна тектонічна активність Рава-Руського розлому – границі Східно-Європейської і Західно-Європейської платформ, яка ототожнюється з зоною Тейсейра-Торнквіста.

В зонах розташування Рівненської і Хмельницької АЕС встановлено зв'язок тектономагнітних аномалій з тектонічноактивними розломами, що виділені як активні за комплексом геолого-геофізичних і геоморфологічних досліджень.

В районі розташування Української антарктичної станції "Академік Вернадський" на мережі пунктів виконано багаторічні повторні Т-зйомки (1988, 2001-2005, 2008). Виявлені інтенсивні тектономагнітні аномалії до -2,8 нТл/рік, просторово-часова структура яких добре узгоджується з елементами тектонічної будови. Вони зумовлені п'єзомагнітним ефектом під дією розтягувальних тектонічних напружень субширотного напрямку до 0,5 мПа/рік.

Інформативність, геологічна ефективність і відносна дешевизна у порівнянні з іншими геофізичними методами дозволяють рекомендувати широке використання тектономагнітного методу у практиці геологічних і екологічних досліджень.

#### Література

- Кузнєцова В.Г., Максимчук В.Ю., Городиський Ю.М. Тектономагнітні дослідження в сейсмоактивному Закарпатському прогині // Геофізический журнал, № 5, 2001, Т. 23. – С.108-119.
- Кузнєцова В.Г., Максимчук В.Е., Городиський Ю.М., Климович Т.А. Изучение связи аномальных эффектов в геомагнитном поле с сейсмическим режимом Карпат // Физика Земли, № 3, 2005. – С.61-67.
- Максимчук В.Ю., Городиський Ю.М., Кузнєцова В.Г. Динаміка аномального магнітного поля Землі. – Львів: Євросвіт, 2001, – 308 с.
- Максимчук В.Ю., Кузнєцова В.Г., Вербицький Т.З. та інші. Дослідження сучасної геодинаміки Українських Карпат. Київ.: Наук. думка, 2005. – 256 с.

### ИТОГИ МНОГОЛЕТНИХ ТЕКТОНОМАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В КАРПАТАХ

Кузнєцова В.Г., Максимчук В.Е., Климович Т.А.

Приведены основные результаты использования тектономагнитных исследований для решения задач современной геодинамики и прогноза землетрясений в Карпатском регионе.

**Ключевые слова:** п'єзомагнетизм; електрокінетика; предвестники землетрясений; аномалія.

### RESULTS OF LONG-TERM TECTONOMAGNETIC INVESTIGATIONS IN THE CARPATHIANS

Kuznetsova V.G., Maksymchuk V.Y., Klymkovych T.A.

The main results of tectonomagnetic investigations application for recent geodynamics and earthquakes prediction problems solution in the Carpathians region are shown.

**Key words:** piezomagnetism; electrokinetic; earthquake precursors; anomaly.

Карпатське відділення Інституту геофізики ім.С.І. Субботіна НАН України, м.Львів