

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ЧАСОВИХ ЗМІН ВЕКТОРІВ ІНДУКЦІЇ В ЗАКАРПАТСЬКОМУ СЕЙСМОАКТИВНОМУ ПРОГІНІ

### Вступ

Відомо, що для широкого класу моделей електромагнітного збудника і збуджуваної системи, якою в нас є земні надра, на виході системи реєструватиметься сигнал, компоненти якого зв'язані між собою лінійною комбінацією [1]. У випадку варіацій геомагнітного поля така лінійна комбінація має вигляд

$$\delta Z_{\omega} = a_{\omega} \delta X_{\omega} + b_{\omega} \delta Y_{\omega} \quad (1)$$

де  $\delta Z_{\omega}$ ,  $\delta X_{\omega}$ ,  $\delta Y_{\omega}$  – амплітуди варіації періоду  $T=2\pi/\omega$  компонент  $Z$ ,  $X$ ,  $Y$ , відповідно,  $a_{\omega}$ ,  $b_{\omega}$  – так звані передавальні функції системи. Зміст знаходження цих функцій полягає в тому, що вони є функціями тільки частоти збуджуючої хвилі і не залежать від її поляризації, залишаючись незмінними за умови незмінності внутрішніх параметрів системи. В геофізичній літературі коефіцієнти  $a_{\omega}$ ,  $b_{\omega}$  часто називають компонентами вектора індукції або вектора Візе, оскільки вектор, компонентами якого є  $a_{\omega}$  (напрямок на північ) і  $b_{\omega}$  (напрямок на схід), вказує напрям від аномалії підвищеної електропровідності.

Аналіз часових змін векторів Візе у деяких сейсмоактивних регіонах світу дав змогу виявити кореляцію в часі між аномальною поведінкою цих векторів і сейсмотектонічними явищами [2–6]. З метою виявлення подібних зв'язків в Закарпатській сейсмоактивній зоні нами вже понад 18 років проводиться неперервний моніторинг векторів індукції за даними магнітоваріаційних спостережень на режимній геофізичній станції “Нижнє Селище” (РГС Н.С.).

Протягом 1989–1999 років на РГС Н.С. здійснювалася лише фотореєстрація варіацій  $H$ -,  $Z$ -,  $D$ -,  $T$ -компонент геомагнітного поля магнітоваріаційною станцією системи В.Н. Боброва з часовою розгорткою 3 мм/хв. і чутливістю приблизно 1 нТл/мм. У другій половині 1999 року відділом регіональних геофізичних робіт УкрДГРІ на РГС Н.С. було встановлено цифрову магнітоваріаційну станцію типу ЛЕМАД. Чутливість реєстрації компонент геомагнітного поля цією станцією становить 0,1 нТл, а частота – 1 вимір на секунду. З того часу на РГС Н.С. проводяться паралельні магнітоваріаційні спостереження обома станціями, а вектори індукції розраховуються за двома незалежними методиками – для аналогових магнітограм та цифрових даних.

Методика розрахунків векторів Візе за даними аналогових магнітограм описана в [7]. Розрахунки векторів індукції за даними цифрових магнітоваріаційних спостережень

проводяться з використанням методики і програми В.Ю. Семенова [8]. Для прискорення процедури обчислень ми розробили до цієї програми оболонку автоматичної підготовки і обробки даних [9]. Використання даних цифрових магнітоваріаційних спостережень, а також досконаліша методика розрахунків дали можливість значно згустити ряди векторів індукції. Наприклад, для варіацій з періодами в діапазоні від 40 до 60 хвилин вектори розраховуються для кожної доби, а для менших періодів – до 10 значень на добу. Така густота є особливо важливою для виявлення можливих добових і сезонних тенденцій у змінах векторів індукції.

Статистичне зіставлення векторів індукції розрахованих за цими двома різними методиками, дало змогу виявити як їхні спільні риси, так і деякі відмінності. Важливою спільною рисою є та, що обидві методики приводять до статистично однакових результатів для множин нормальних (не аномальних) значень векторів, напрям яких визначається відомою Карпатською аномалією електропровідності. Це, очевидно, вказує на те, що нормальні значення векторів в обох випадках можуть викликати довіру.

Відмінності, очевидно, викликані насамперед суттєво різною густотою рядів векторів. Густота рядів векторів, розрахованих за цифровими даними, на 2–3 порядки вища ніж за аналоговими магнітограмами, що є причиною суттєвої відмінності у характері розподілу і часових проявів аномальних значень векторів індукції, розрахованих за різними методиками. Виявилось, що послідовності аномальних векторів індукції характеризуються здебільшого не гладкою бухтоподібною формою, як того можна було б очікувати, ґрунтуючись на припущенні про поступові зміни електропровідності гірських порід в зоні підготовки землетрусу, а проявляються окремими піковими значеннями або серіями піків однієї або обох компонент. Зрозуміло, що при знаходженні середньомісячних компонент вектора індукції за аналоговими магнітограмами ми не могли цього виявити. Часові зміни векторів індукції, розрахованих за аналоговими магнітограмами, нами описані в працях [7, 10]. Тому в цій статті розглянемо результати аналізу часових рядів векторів індукції, розрахованих за даними цифрових магнітоваріаційних спостережень за 2000–2004 рр. та їх зв'язок з місцевою сейсмічністю.



### **Методика та алгоритм обробки цифрових магнітоваріаційних спостережень**

Встановлення у 1999 році на РГС "Нижне Селище" цифрової магнітоваріаційної станції типу ЛЕМАД дало змогу значно деталізувати часові ряди векторів Візе. Якщо на основі аналізу аналогових магнітограм для отримання представницьких вибірок ми розраховували вектори Візе для інтервалів тривалістю 1 місяць, то на основі цифрових даних це можна зробити для кожного дня, а для варіацій з невеликими періодами ще з більшою густотою.

Однак, при обробці цифрових даних виникли певні ускладнення. Процес отримання густих часових рядів компонент векторів Візе для широкого спектра діапазонів періодів виявився вельми трудомістким. Тому на першому етапі обробка даних цифрових магнітоваріаційних спостережень дуже сильно відставала від їх надходження. Отже, виникла необхідність автоматизувати процес обробки з врахуванням можливих непередбачуваних перерв в роботі приладу.

До алгоритму автоматизації висувались наступні вимоги. Можливість задавати довільні кроки усереднення початкових даних. Однозначна прив'язка моменту початку усередненої вибірки до часу за Гринвічем. Ця вимога зумовлена тим, що активність геомагнітного поля є неоднаковою в різний час доби (вдень більшою, ніж вночі). Крім того, це дає можливість проаналізувати зміни векторів Візе для варіацій невеликих періодів як в розрізі доби, так і в розрізі року для тих самих часових інтервалів середньої сонячної доби. До алгоритму висувались також вимоги щодо можливості зменшити втрати інформації внаслідок перерв у спостереженнях.

Тому ми розробили алгоритм з використанням реперів – наперед визначених моментів часу для кожного періоду усереднення. Першим репером завжди приймається початок доби, кожен наступний репер обчислюється відповідно до виразу:

$$TR_i = TR_{i-1} + k \times n,$$

де  $TR_i$  – момент часу, що відповідає  $i$ -му реперу,  $k$  – крок усереднення,  $n = 1024$  або  $2048$ .

Якщо останній репер потрапляє в проміжок часу між 23 та 24 годинами, то дані, які залишилися, вже не обробляються, інакше обчислення проводяться також для реперів у зворотному порядку (за початок відліку приймається кінець доби). Допустимий час втрати (1 година) вибраний з тих міркувань, що в нічні години поле здебільшого спокійне і втрати інформації будуть мінімальними. Оскільки значна частина початкових даних містить розриви, алгоритм обробки довелося ускладнити умовою, яка допускає відхилення початку вибірки від найближчого репера не

більше ніж на 20 % довжини вибірки.

Для усереднення даних передбачена можливість знаходження як середнього арифметичного, так і медіани. Усереднені дані подаються на вхід програми, результатом роботи якої є значення дійсних та уявних компонент векторів Візе для варіацій різних періодів.

На основі такого алгоритму було створено систему програм [9], які стали оболонкою до програми В.Ю. Семенова. Використання створеного комплексу пришвидшило процес обчислень векторів Візе більше, ніж у 100 разів.

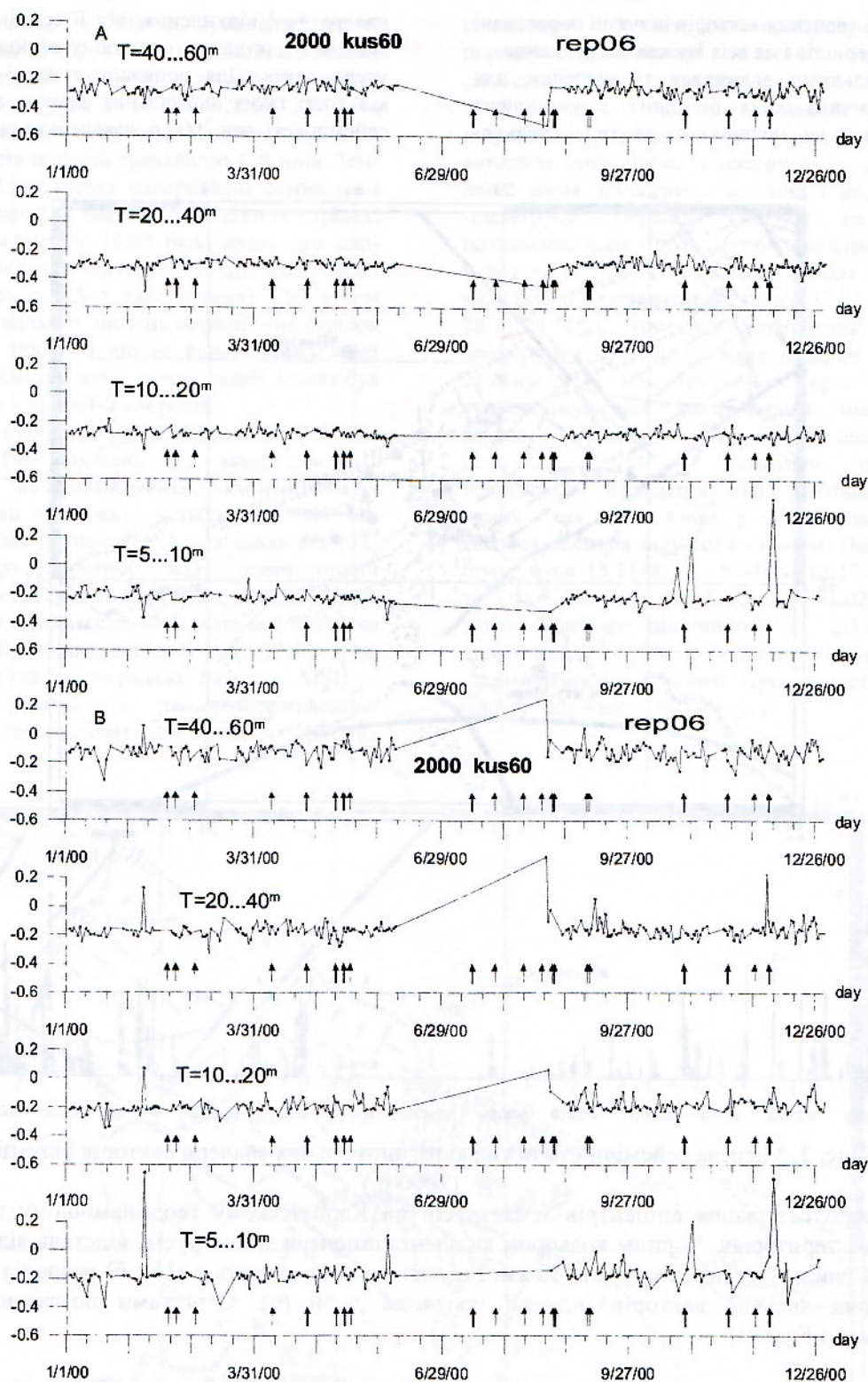
Компоненти векторів Візе обчислювались для шести діапазонів періодів, а саме: 1–2,5 хв; 2,5–5 хв; 5–10 хв; 10–20 хв; 20–40 хв та 40–60 хв. Використовувалися такі кроки усереднення – 6, 10, 15, 20, 30, 40, 60 та 80 с. Наприклад, для кроку усереднення 6 с протягом доби обчислюється 14 значень векторів індукції для двох діапазонів періодів: 1–2,5 хв та 2,5–5 хв, а для найбільшого кроку усереднення 80 с одне значення вектора Візе для діапазонів періодів від 5 хв.

### **Результати аналізу часових змін векторів індукції**

Загалом значення дійсних компонент векторів Візе, обчислених за цифровими даними, практично не відрізняються від значень відповідних компонент, розрахованих на основі обробки аналогових магнітограм для тих самих діапазонів періодів. Тобто, напрям і величина неаномальних векторів визначаються Карпатською аномалією електропровідності. Щодо аномальних випадків, то як виявилось завдяки щільності цифрових магнітоваріаційних даних, їхня тривалість здебільшого становить одну або декілька діб. Причому в останньому випадку аномальність проявляється кількома послідовними різкими відхиленнями або значним збільшенням дисперсії однієї або обох компонент. Наприклад, на рис. 1 наведено ряди щодобових значень компонент векторів індукції за 2000 рік для 4-х діапазонів періодів  $5^m - 10^m$ ,  $10^m - 20^m$ ,  $20^m - 40^m$ ,  $40^m - 60^m$ . Основна маса значень на періодах понад  $20^m$  для компоненти А перебуває в межах  $-0.4 - -0.2$ , а компоненти В  $-0.25 - -0.05$ . Ці межі на менших періодах дещо зміщуються. На фоні цієї маси виділяються окремі різкі відхилення, які помітно виходять за вказані межі.

Як видно з рис. 1, для трьох випадків найбільш аномальних значень компонент векторів індукції у двох випадках поблизу РГС Н.С. (3.12.00 та 23.10.00) відбулися землетруси. За браком місця ми не наводимо тут графіків зі значеннями компонент векторів індукції для наступних (2001–2004) років. Зазначимо лише, що у 2001 р. з трьох близьких землетрусів два скорелювали в часі з різкими відхиленнями компонент векторів індукції.





**Рис. 1.** Результати обчислень компонент вектора Візе за даними цифрових магнітоваріаційних спостережень у 2000 році (стрілками показано моменти місцевих землетрусів з  $K \geq 6$ )

Однак в наступні 2002–2004 рр. більша частина подібного типу аномалій компонент векторів індукції не супроводжувалась близькими землетрусами.

Крім таких візуально видимих аномальних

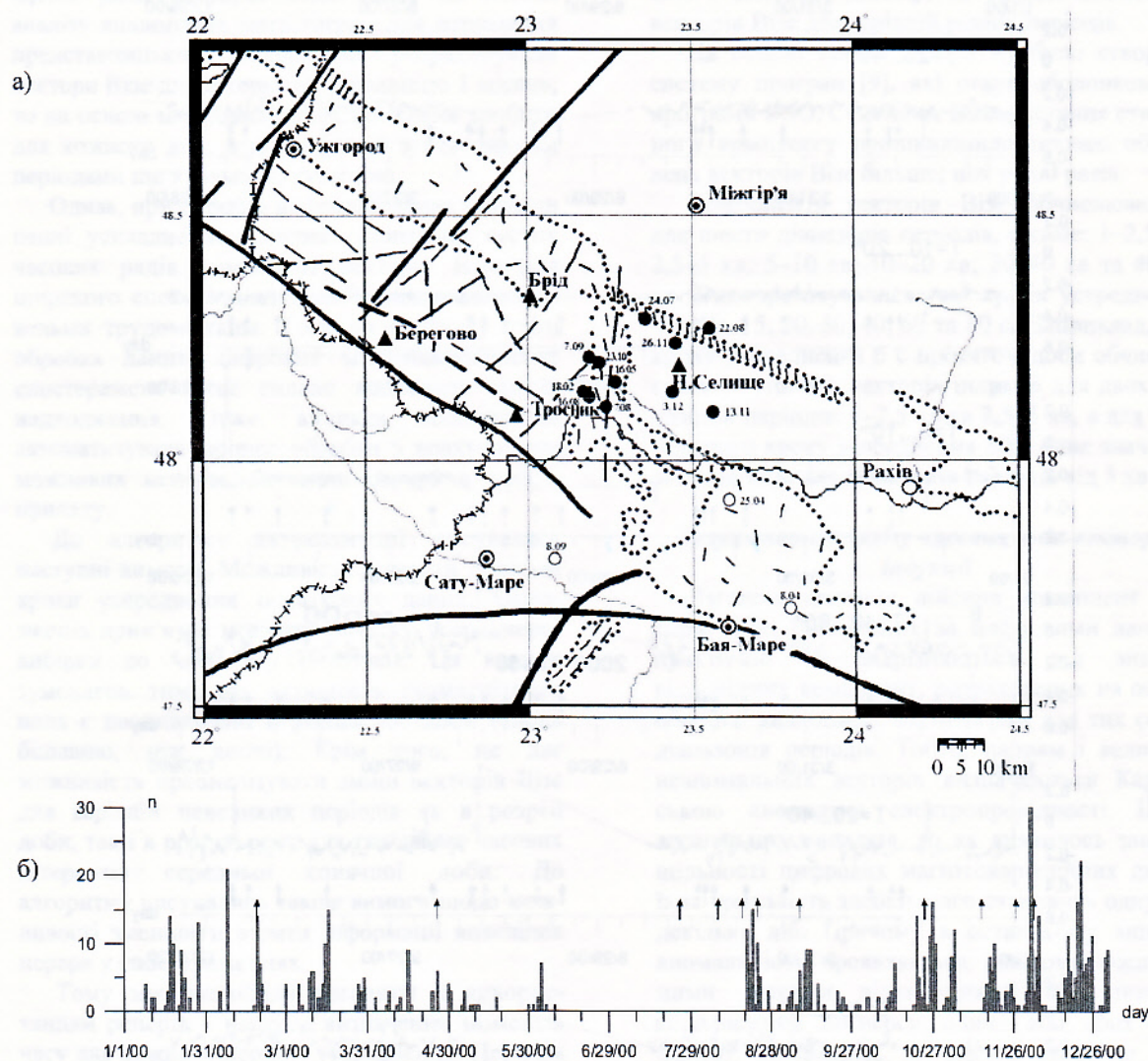
значень зустрічається велика кількість днів, коли також мають місце випадки аномальної поведінки векторів Візе. Тому для детальнішого аналізу всіх аномальних значень і їх зв'язку з сейсмічністю у районі РГС ми розглянули



аномальні значення векторів індукції пораховані для всіх періодів і на всіх кроках усереднення.

Аномальними вважалися ті значення, для яких величина хоча б однієї з компонент відрізнялася не менше ніж на три середньо-

квадратичні відхилення, від її середньорічного значення для даного діапазону періодів і кроку усереднення. Для прикладу сумарні величини кількості таких аномальних значень та місцева сейсмічність для 2000 р. наведені на рис. 2.



**Рис. 2.** Місцева сейсмічність та кількість аномальних значень векторів індукції (2000 р.)

а) схема розташування епіцентрів землетрусів на Карпатському геодинамічному полігоні і прилеглих територіях. Чорним кольором виділені епіцентри землетрусів, відстань від яких до РГС „Н.Селище” не перевищувала 30 км. Геологічна основа взята з [11]; б) розподіл кількості аномальних значень векторів індукції протягом доби (n). Стрілками позначені місцеві землетруси з  $K \geq 6.3$

У 2000 р. магнітоваріаційна станція не працювала протягом 93 днів. З порахованих 273 днів не було аномальних значень індукційних стрілок на жодному з періодів для 132 днів. Для 141 дня спостерігались аномальні значення хоча б для одного періоду. Причому здебільшого таких днів було кілька підряд. Так аномальні зміни тривали 1 день у 21 випадку, 2 дні у 10 випадках, 3 дні у 3 випадках і від 4 до 14 днів у 15 випадках.

Для аналізу бралися землетруси, епіцентри яких були на відстані до 30 км від РГС „Н.Селище”. Ця віддаль перевищує радіус електромагнітних провісників, знайдений у [12] емпіричним шляхом, але оскільки координати епіцентрів визначаються з похибками (іноді до 20 км [13]), то ми, щоб не пропустити близьких землетрусів, вважали за доцільне розширити цю область до вказаних розмірів. Землетрусів, епіцентри яких були на відстані до 30 км від



РГС „Н.Селище” у 2000 р. було одинадцять, чотири з них (24.07, 7.08, 16.08, 7.09) відбулися у час, коли не працювала магнітоваріаційна станція. Землетруси 26.11, 3.12, 22.08, 23.10, та 18.02 потрапляють на групи аномальних значень векторів індукції тривалістю 4–9 днів. Землетрус 13.11 відбувся напередодні семиденної групи аномальних значень індукційних стрілок, а після землетрусу 16.05 було лише два аномальних значення векторів індукції наступного дня на періоді 2,5–5 хв (таблиця). Дев'ятьом групам аномальних значень індукційних стрілок тривалістю понад 4 дні не відповідають ніякі місцеві сейсмічні події. Аналогічний аналіз був проведений для 2001–2004 років.

Карта епіцентрів землетрусів за 2000–2004 рр. [13], відстань від яких до РГС „Н.Селище” не перевищувала 30 км наведена на рис.3, а дані про них – у таблиці. У таблиці прийнято такі позначення: L – віддаль від РГС до епіцентру землетрусу; KD – енергетичний клас землетрусу, визначений за довжиною запису; MD – магнітуда, визначена за довжиною коливань; Kp – енергетичний клас землетрусу, визначений за номограмою Раутіан; MSH – магнітуда, визначена за горизонтальною складовою поперечних хвиль; h – глибина

гіпоцентру. Землетруси пронумеровані у порядку збільшення відстані від РГС „Н.Селище” до їх епіцентру.

Як видно з таблиці, аномальні значення індукційних стрілок спостерігаються у деяких випадках лише перед землетрусом, у деяких – лише після землетрусу, а іноді і до, і після землетрусу. Перший випадок на рис. 4 позначений чорними трикутниками зліва від кіл, у другий – справа, а третій – з обох боків. У випадку, коли епіцентри співпали (3.12.00 (4) та 28.11.03 (5)), характер розміщення в часі аномальних значень векторів індукції теж був схожим. Для землетрусів, які практично не супроводжувалися аномальними значеннями векторів індукції, кола трикутниками не позначалися. Можна помітити, що для землетрусів, епіцентри яких розташовані в одних і тих самих зонах, розподіл аномальних значень векторів індукції є схожим. Наприклад, землетруси 13.11.00 та 26.04.04 (13,17); 8.03.03 та 9.03.03 (19, 20); 16.05.00 та 07.02.02 (14, 15) тощо. Причому, північніше РГС „Н.Селище” аномальні значення індукційних стрілок спостерігаються здебільшого перед землетрусом, а південніше – після землетрусу.

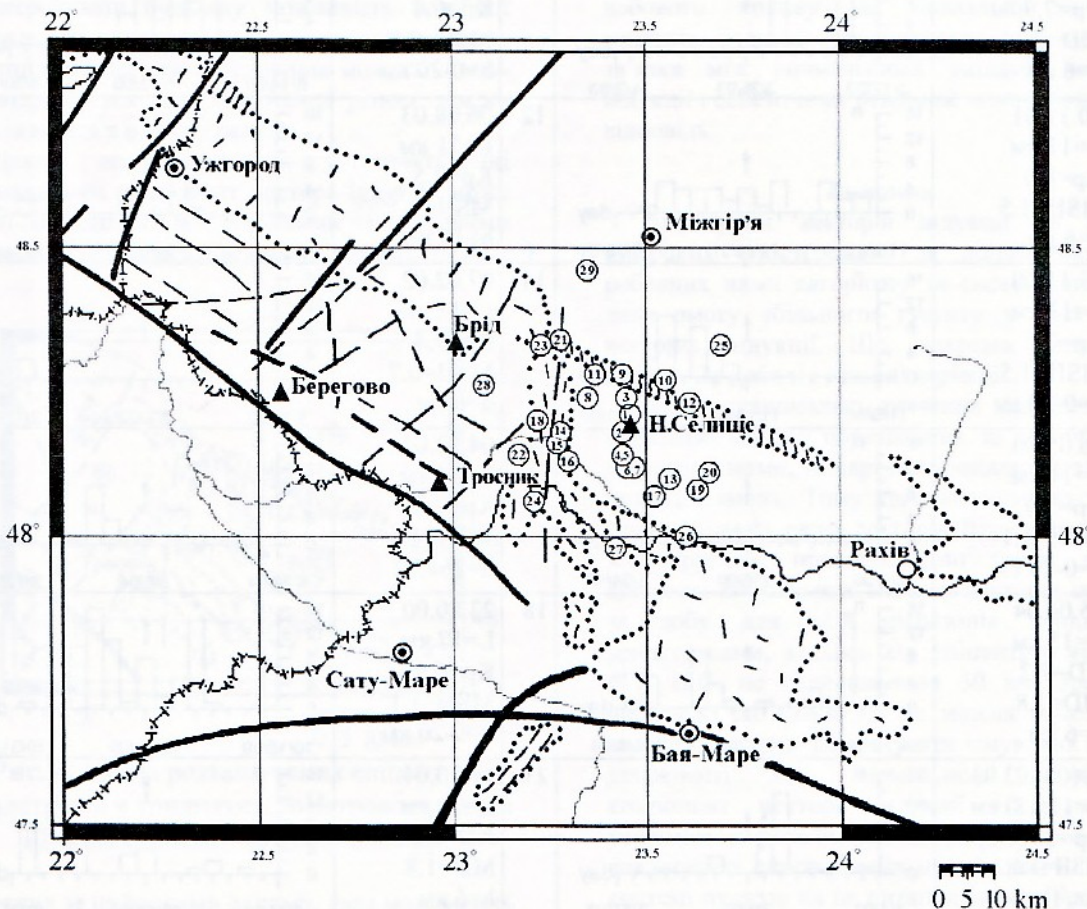


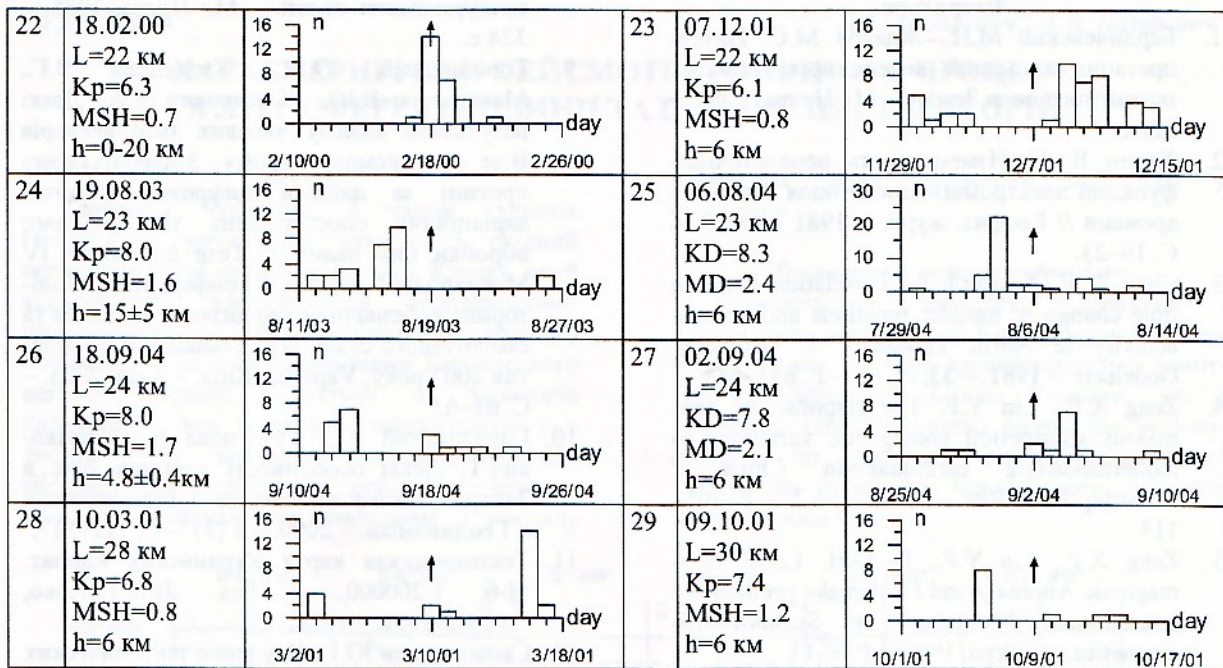
Рис. 3. Схема розташування епіцентрів землетрусів на Карпатському геодинамічному полігоні, відстань від яких до РГС „Н.Селище” не перевищувала 30 км за 2000–2004 рр.



Дані про землетруси за 2000–2004 рр., відстань від яких до РГС „Н.Селище” не перевищувала 30 км та діаграми кількості аномальних значень векторів індукції на всіх періодах протягом доби (n)

№ з/п		Діаграма аномальних значень векторів індукції		Діаграма аномальних значень векторів індукції	
1	10.03.04 L=1 км KD=7.1 MD=1.75 h=6 км		2	14.02.02 L=2 км Kp=7.4 MSH=0.8 h=6 км	
3	26.11.00 L=5 км Kp=6.8 MSH=1.0 h=0-20 км		4	3.12.00 L=7 км Kp=7.8 MSH=1.3 h=0-20 км	
5	28.11.03 L=7 км Kp=6.8 MSH=1.0 h=16.4±4.1 км		6	3.11.03 L=8 км Kp=7.3 MD=1.68 h=6 км	
7	21.08.02 L=9 км Kp=7.4 MSH=1.3 h=32 км		8	11.07.01 L=9 км Kp=7.7 MSH=1.0 h=6 км	
9	25.03.04 L=9 км Kp=7.9 MD=2.25 h=6 км		10	22.08.00 L=11 км Kp=6.4 MSH=0.8 h=0-20 км	
11	10.11.01 L=11 км Kp=8.0 MSH=1.5 h=6 км		12	06.08.03 L=11 км Kp=7.5 MSH=1.1 h=10 км	
13	13.11.00 L=13 км Kp=7.5 MSH=1.5 h=0-20 км		14	07.02.02 L=13 км Kp=7.4 MSH=0.7 h=6 км	
15	16.05.00 L=14 км Kp=7.0 MSH=1.1 h=0-20 км		16	04.02.04 L=14 км Kp=7.4 MSH=1.1 h=26±5.2	
17	26.04.04 L=15 км KD=7.2 MD=1.8 h=6 км		18	23.10.00 L=17 км Kp=6.9 MSH=1.1 h=0-20 км	
19 (20)	09(08).03.03 L=17(18) км Kp=7.9(8.0) MSH=1.5(1.6) 3.к. (h=6 км)		21	19.10.04 L=20 км KD=7.3 MD=1.8 h=6 км	





Як видно з наведених результатів, на цьому етапі стверджувати, що між аномальною поведінкою компонент вектора індукції і сейсмічним режимом в регіоні існує пряма залежність, не можна. Хоча, мабуть, передчасно і заперечувати будь-яку можливість подібної залежності, оскільки механізми змін електричних параметрів середовища можуть помітно відрізнятися при підготовці різних землетрусів навіть в одному регіоні.

Деяка неоднозначність у трактуванні аномальності компонент вектора індукції може бути викликана їх сезонними і добовими змінами. Густота рядів векторів індукції, отри-

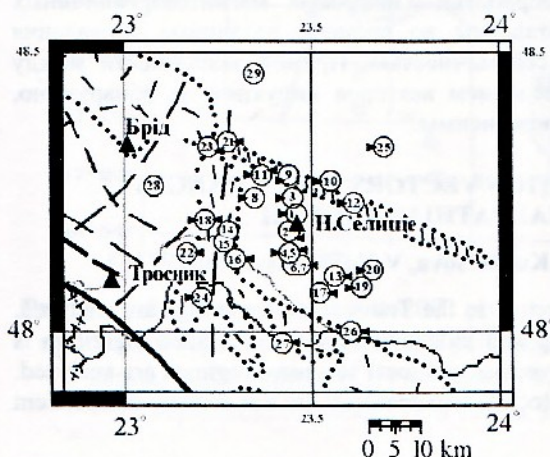
наслідком впливу іоносферних джерел на величину і напрям векторів індукції.

Можливо, за умови проведення аналогічних спостережень не на одній РГС, а на системі пунктів, а також явного врахування сезонного і добового впливу на аномальні значення векторів індукції на питання про можливі зв'язки між аномальними змінами векторів індукції і сейсмічним режимом можна буде дати відповідь.

### Висновки

Розрахунки векторів індукції на основі цифрових спостережень за допомогою розроблених нами алгоритму та системи програм дали змогу збільшити густоту у часі рядів векторів індукції. Що, зокрема, дозволило виявити їх добові і сезонні варіації.

Якщо неаномальні значення практично не відрізняються від порохованих за аналоговими магнітограмами, то картина аномальних значень істотно інакша. Тому крім візуального зіставлення часових рядів векторів Візе з місцевими землетрусами, проаналізовано також зв'язки кількості аномальних значень векторів індукції за добу для всіх діапазонів періодів з землетрусами, віддалі від епіцентрів яких до РГС Н.С. не перевищувала 30 км. Зроблено висновок, що поки що не можна однозначно стверджувати чи заперечувати існування прямої залежності між аномальною поведінкою компонент вектора індукції і сейсмічним режимом у регіоні, але за умови проведення аналогічних спостережень не на одній РГС, а на системі пунктів на це питання можна буде дати конкретнішу відповідь.



**Рис. 4.** Схема розташування епіцентрів землетрусів у тридцятикілометровому околі РГС „Н.Селище” за 2000–2004 рр.

муваних за цифровими даними, дала можливість впевнено виявити такі зміни, чого раніше виявити не вдавалося. Такий сезонно-добовий характер змін вектора  $\epsilon$ , на нашу думку,



### Література

1. Бердичевский М.Н., Жданов М.С. Интерпретация аномалий переменного электромагнитного поля Земли. – М.: Недра, 1981. – 328 с.
2. Харин Е. П. Изменчивость передаточных функций электромагнитного поля Земли во времени // Геофиз. журн. – 1981. – № 3. – С. 16–23.
3. Chen P. F. A search for correlation between time change in transfer functions and seismic activity in North Taiwan // J. Geomagn. Geoelectr. – 1981. – 33, № 12. – P. 635–643.
4. Zeng X.P., Lin Y.F. The response of anomalous shortperiod eomagnetic variations to moderate-strong earthquakesin China // J. Earthq. Pred. Res. – 1992. – № 2. – P. 105–114.
5. Zeng X.P., Lin Y.F., Li D.H. Local Geomagnetic Anomaly and Earthquake prediction / International Workshop on Seismoelectromagnetics. – Tokyo, 1997. – P. 9–13.
6. Zeng X.P., Lin Y.F. et al. Study on electric variations of media in epicentral area by geomagnetic transfer functions // Acta Seismologica Sinica. – 1995. – V. 8, № 3. – P. 413–418.
7. Максимчук В., Городиський Ю., Кузнецова В. Динаміка аномального магнітного поля Землі. – Львів: Євровіт, 2001. – 306 с.
8. Семенов В.Ю. Обработка данных магнитотеллурических полей. – М.: Недра, 1985. – 324 с.
9. Городиський Ю.М., Кузнецова В.Г., Максимчук В.Ю., Климович Т.А. Деякі результати аналізу часових змін векторів Візе в сейсмоактивному Закарпатському прогині за даними цифрових магнітоваріаційних спостережень та проблеми обробки цих даних // Тези доповідей IV Міжнародної наукової конференції “Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища”, 9–11 жовтня 2003 року, Україна, Київ. – Київ, 2003. – С. 61–63.
10. Городиський Ю., Кузнецова В., Климович Т. Деякі особливості векторів Візе в Закарпатському прогині та їх інтерпретація // Геодинаміка. – 2000. – 1 (3). – С. 112–117.
11. Тектоническая карта Украинских Карпат. М-б 1:200000 / Ред. В.В. Глушко, С.С. Круглов. – 1986.
12. Сковородкин Ю.П. Изучение тектонических процессов методами магнитометрии. – М.: Ин-т физики Земли АН СССР, 1985. – 197 с.
13. Сейсмологический бюллетень Украины за 2000, 2001, 2002, 2003, 2004 год / Ред. Б.Г. Пустовитенко – Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины. – Симферополь, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006. – 120 с., 113 с., 148 с., 132 с., 166 с.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ВЕКТОРОВ ИНДУКЦИИ В ЗАКАРПАТСКОМ СЕЙСМОАКТИВНОМ ПРОГИБЕ

Т.А. Климович, Ю.М. Городиський, В.Г. Кузнецова, В.Е. Максимчук

Анализируются результаты многолетних исследований рядов векторов индукции в Закарпатском сейсмоактивном прогибе. В статье описан алгоритм обработки цифровых магнитовариационных наблюдений и вычисления векторов индукции. Сопоставлены во времени различные проявления аномальных изменений векторов индукции с местной сейсмичностью. Прямой зависимости между активизацией сейсмического режима и аномальным поведением векторов индукции не обнаружено, однако из анализа не следует, что эти явления полностью независимы.

### RESULTS OF INVESTIGATIONS OF INDUCTION VECTORS TIME CHANGES IN THE SEISMOACTIVE TRANSCARPATHIAN TROUGH

T.A. Klymkovych, Yu.M. Horodysky, V.G. Kuznetsova, V.Yu. Maksymchuk

The results of long term investigations of induction vectors in the Transcarpathian trough are analyzed. The description of digital magnetovariational data processing and induction vectors calculation algorithm is given. The time relations of anomalous changes of induction vectors and local seismical regimen are analyzed. The direct relation between these phenomena has not been detected, however they are not entirely independent as well.

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

Надійшла 08.12.2007