

Дослідження часових змін параметрів векторів індукції у Закарпатському сейсмоактивному прогині

© Т. А. Климкович, Ю. М. Городиський, В. Г. Кузнєцова,
В. Ю. Максимчук, 2009

Карпатське відділення Інституту геофізики НАН України,
Львів, Україна

Надійшла 25 вересня 2008 р.

Представлено членом редколегії С. Н. Куліком

Исследованы временные изменения параметров векторов индукции в Закарпатском сейсмоактивном прогибе. Сопоставление аномального поведения векторов индукции с сейсмическим режимом Закарпатья позволило установить особенности их аномальных изменений в зависимости от локализации эпицентров близких землетрясений. Векторы Визе в Закарпатском прогибе проявляют зависимость от периода солнечных суток, сезона, а также цикла солнечной активности. Данные явления накладываются на изменения векторов индукции геодинамического происхождения и поэтому усложняют определение возможных связей аномальных изменений векторов индукции с сейсмическим режимом.

Temporal changes of induction vectors in seismically active Transcarpathian trough have been investigated. Comparison of anomalous induction vectors behavior and seismic activity of Transcarpathia made possible to reveal special features of their anomalous changes depending on earthquakes epicenters localization in the vicinity. Vize vectors in Transcarpathia trough reveal the dependence on phases of solar day and season as well as on solar activity cycle. These phenomena superpose on the changes of induction vectors of geodynamic origin and therefore make more complicated revealing possible correlations between anomalous changes of induction vectors and seismic activity.

Вступ. Відомо, що для широкого класу моделей електромагнітного збудника і збуджуваної системи, якою є земні надра, на виході системи реєструватиметься сигнал, компоненти якого пов'язані між собою лінійною комбінацією [Бердичевский, Жданов, 1981]. 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 δZ_{ω} , δX_{ω} , δY_{ω} — амплітуди варіації періоду $T = 2\pi / \omega$ компонент Z , X , Y відповідно; a_{ω} , b_{ω} — так звані передавальні функції системи.

Зміст знаходження цих функцій полягає в тому, що вони є функціями тільки частоти збуджувальної хвилі, залишаючись незмінними за умови незмінності внутрішніх параметрів си-

стеми. У геофізичній літературі коефіцієнти a_{ω} , b_{ω} часто називають компонентами вектора індукції або вектора Визе, оскільки вектор, компонентами якого є a_{ω} (напрямок на північ) і b_{ω} (напрямок на схід), вказує напрямок від зони підвищеної електропровідності. Часто вживають також терміни "індукційна стрілка" та "типер". У загальному випадку компоненти a_{ω} , b_{ω} є комплексними величинами і, ймовірно, виявляють деяку залежність від характеру електромагнітного збудника. Якщо у первинному збуджувальному полі Z -складова відмінна від нуля, то коефіцієнти a_{ω} , b_{ω} міститимуть неконтрольований внесок цієї складової. Для таких випадків В. М. Шуман запропонував співвідношення — узагальнене рівняння імпедансів [Шуман, 2006; 2007], у скалярних параметрах якого слід враховувати впли-

ви зовнішнього походження. Однак це загальне рівняння імпедансів містить доданки з просторовими градієнтами компонент варіацій геомагнітного поля. Оскільки у Закарпатті неперервно працює лише одна магнітоваріаційна станція, то, на жаль, немає достатньої інформації для знаходження таких скалярних параметрів. Тому обмежимося розрахунком і аналізом змін у часі дійсних та уявних частин класичних векторів індукції.

Аналіз часових змін векторів Візе у деяких сейсмоактивних регіонах світу дає змогу виявити кореляцію в часі між аномальною поведінкою цих векторів і сеймотектонічними процесами [Харин, 1981; Chen, 1981; Zeng Xiaoping et al., 1995]. Перед окремими сильними землетрусами спостерігались аномальні зміни компонент вектора індукції. Дуже цікаві результати стосовно зміни напрямку векторів Паркінсона (векторів, напрям яких протилежний напрямку векторів Візе) перед землетрусами отримані на магнітних обсерваторіях у Шешані, Чонмінгу та в Даляні. Вектори Паркінсона на кількох геофізичних станціях перед багатьма землетрусами мали напрями, що вказували на епіцентри майбутніх землетрусів [Zeng Xiaoping et al., 1985].

З метою виявлення подібних зв'язків у Закарпатській сейсмоактивній зоні ми вже понад 18 років проводимо неперервний моніторинг векторів індукції за даними магнітоваріаційних спостережень на режимній геофізичній станції "Нижнє Селище" (РГС Н.С.). Аналіз часових рядів векторів Візе за 1989—1999 рр., отриманих за даними аналогових магнітограм, дав можливість дійти таких основних висновків:

1) на зміну векторів Візе впливає загальне підвищення сейсмічності в Карпато-Балканському регіоні [Харин і др., 1996];

2) у деяких випадках аномальні зміни векторів Візе відповідали землетрусам, які відбувались у районі Закарпатського глибинного розлому [Максимчук та ін., 2001].

Втім оскільки розраховували лише середньомісячні значення векторів індукції, то надійність кореляційних зв'язків була невеликою.

У другій половині 1999 р. відділом регіональних геофізичних робіт УкрДГРІ на РГС Н.С. було встановлено цифрову магнітоваріаційну станцію типу ЛЕМАД. Чутливість реєстрації компонент геомагнітного поля цією станцією 0,1 нТл, частота — 1 вимір за секунду. З того часу на РГС Н.С. проводять паралельні

магнітоваріаційні спостереження обома станціями, а вектори індукції розраховують за двома незалежними методиками — для аналогових магнітограм і цифрових даних. Методика розрахунків векторів Візе за даними цифрових магнітоваріаційних спостережень описана у праці [Семенов, 1985].

Результати. Використання даних цифрових магнітоваріаційних спостережень, а також досконаліша методика розрахунків дали можливість значно ущільнити ряди векторів індукції. Параметри векторів Візе обчислювали для шести діапазонів періодів, хв: до 2,5; 2,5—5; 5—10; 10—20; 20—40 і 40—60. Кроки усереднення обчислення — 6, 10, 15, 20, 30, 40 та 60 с. Для варіацій з періодами в діапазоні від 40 до 60 хв вектори розраховували для кожної доби, а для менших періодів — до 10 значень за добу.

Статистичне зіставлення векторів індукції, порохованих за цими двома різними методиками, дало змогу виявити як їх спільні риси, так і деякі відмінності. Важливою спільною рисою є те, що обидві методики приводять до статистично однакових результатів для множин нормальних (не аномальних) значень векторів, напрям яких визначається відомою Карпатською аномалією електропровідності.

Відмінності, очевидно, зумовлені насамперед суттєво різною щільністю рядів векторів (щільність рядів векторів, порохованих за цифровими даними, на 2—3 порядки вища, ніж за аналоговими магнітограмами). Виявилось, що послідовності аномальних векторів індукції не характеризуються здебільшого гладкою бухтоподібною формою, як того можна було б очікувати, ґрунтуючись на припущенні про поступові зміни електропровідності гірських порід у зоні підготовки землетрусу, а виділяються окремими піковими значеннями або серіями піків однієї або обох компонент.

За візуального зіставлення для "цифрових" векторів Візе однозначної відповідності у часі їх аномальної поведінки з місцевою сейсмічністю виявити не вдалось. Велика кількість землетрусів не супроводжувалась суттєвими аномаліями векторів Візе. І навпаки, є чимало випадків, коли проміжок часу між різкими аномальними піками компонент вектора на певних періодах та найближчими в часі землетрусами становить 20 діб або більше. Не спостерігається і чіткої часової кореляції між аномальними змінами векторів індукції та сильнішими, але дещо віддаленішими землетрусами.

У цілому в регіоні для окремих аномальних проявів зв'язку із сейсмічністю визначити не вдалося, тому на наступному кроці досліджень були розглянуті лише найближчі до пункту спостереження землетруси (відстань до епіцентрів яких становила не більше 30 км). На цьому етапі до розгляду бралися аномальні значення векторів індукції, обчислені для періодів від 2,5 до 60 хв на всіх кроках усереднення. Аномальними вважали ті значення, для яких хоча б одна з компонент перевищувала три відповідні середньоквадратичні відхилення від середнього, пораховані за рік. Виявилось, що є тенденція групування діб, коли спостерігались аномальні значення векторів індукції. Дані стосовно землетрусів бралися з бюлетеня [Сейсмологический ..., 1999—2004]. За 2000—2004 рр. відбулось 29 землетрусів енергетичного класу $K_p = 6,1—8$, відстань від яких до РГС Н. С. не перевищувала 30 км.

Карта епіцентрів згаданих землетрусів показана на рис. 1. У 10 випадках групи діб з аномальними значеннями векторів індукції передували сейсмічним подіям (стрілки зліва), в 11 — спостерігались після землетрусу (стрілки справа), у 4 — до і після сейсмічної події (стрілки з обох боків), у 4 випадках сейсмічні події фактично не супроводжувались аномальними значеннями векторів індукції. Причому є певна закономірність таких груп у часі відносно місцевих землетрусів залежно від зони розміщення епіцентрів.

Можна помітити, що для землетрусів, епіцентри яких тяжіють до Закарпатського глибинного розлому, аномальні значення індукційних стрілок спостерігаються здебільшого

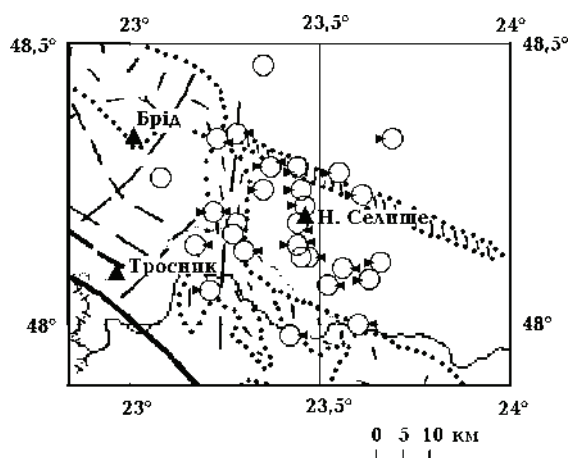


Рис. 1. Схема розміщення епіцентрів землетрусів у 30-кілометровому околі РГС "Нове Селище" за 2000—2004 рр.

перед землетрусом (7), а для землетрусів, епіцентри яких знаходяться у центральній частині Закарпатського прогину, — після землетрусу (9). Ймовірно, у зоні Закарпатського глибинного розлому відбуваються певні зміни електропровідності в період підготовки землетрусів. Цей результат найкраще узгоджується з гіпотезою, що природа Карпатської аномалії електропровідності зумовлена частковим плавленням порід з наявністю води [Бурьянов и др., 1978], а не поширенням графітових покладів [Zhamaletdinov, 2005]. У Закарпатському прогині зміни електропровідності є наслідком руйнування структурних елементів середовища. Однак для впевненішого висновку щодо відзначеної закономірності потрібно розширити мережу неперервних магнітоваріаційних спостережень, оскільки механізми змін електричних параметрів середовища можуть помітно різнитися під час підготовки різних землетрусів навіть в одному регіоні.

За щільністю рядів векторів індукції, отримуваних за цифровими даними, впевнено виявлено їх сезонні й добові зміни, чого раніше, за аналоговими даними, встановити не вдавалось. Ці зміни відбиваються у зміні форми та орієнтації ділянки, яку займають вершини векторів на площині їх компонент (a_{ω} , b_{ω}) для всіх діапазонів періодів. Було помічено, що зона розподілу вершин індукційних векторів протягом дня змінюється. Це характерне для всіх періодів. Для прикладу наведемо дані за січень 2004 р. для періоду 5—10 хв на кроці усереднення 10 с (рис. 2).

Як видно з рис. 2, у нічний час зона розподілу має еліпсоподібну форму з невеликою витягнутістю (відношення головних осей еліпса розсіювання менше 2), а зі сходом сонця фігура має максимальну витягнутість (відношення головних осей еліпса розсіювання понад 10). Крім того, від ранкових до полуденних годин відбувається також поворот великої осі фігури. У ранкові та вечірні години азимут цієї осі приблизно -40° . У полуденні години цей напрямок близький до меридіонального. Після полудня змінення форми відбувається у зворотному напрямку.

Значення азимутів великих півосей еліпсів розсіювання (рис. 3) розраховували як кути між осями симетрії еліпса розсіювання та осями координат [Гурский, 1971]:

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2r_{AB} \sigma_A \sigma_B}{\sigma_A^2 - \sigma_B^2},$$

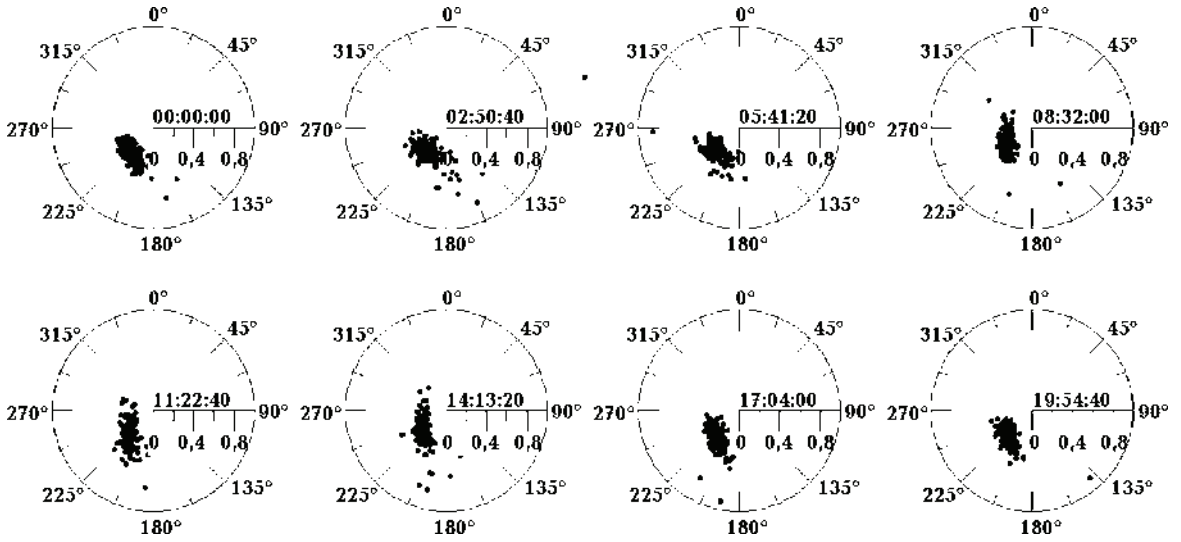


Рис. 2. Розподіл вершин векторів індукції на площині протягом доби (січень 2004 р.). Час вказано за Грінвічем.

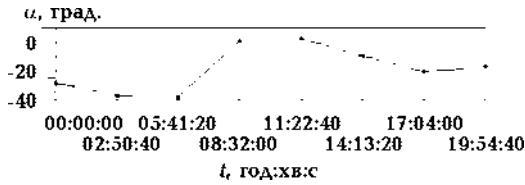


Рис. 3. Азимути головної осі еліпса розсіювання протягом доби (січень 2004 р., період \rightarrow 5—10 хв). По горизонталі — час, год : хв : с.

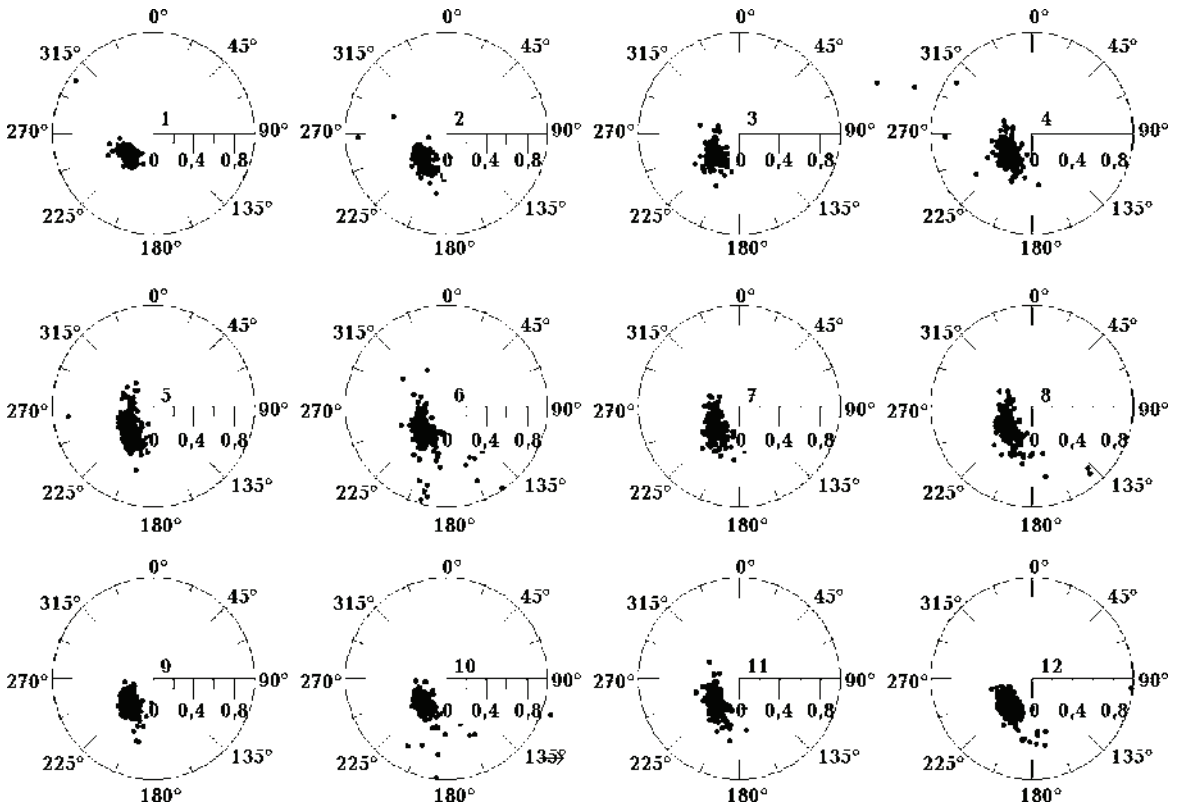


Рис. 4. Розподіл вершин векторів індукції на площині протягом року (2004 р.). Місяці позначені цифрами всередині кола.

де σ_A , σ_B — середньоквадратичні відхилення компонент вектора індукції A та B ; r_{AB} — коефіцієнт кореляції компонент вектора індукції.

Аналогічну залежність отримуємо і від пори року. На рис. 4 наведено дані за 2004 р. для періоду 5—10 хв з кроком усереднення 10 с. Як видно з рисунка, найбільша витягнутість і найменше відхилення від меридіонального напрямку зони розподілу вершин векторів індукції на площині спостерігається в літній період (травень—серпень).

Азимути великої осі еліпсів розсіювання протягом доби по сезонах наведено на рис. 5 (I сезон — січень—квітень; II — травень—серпень; III сезон — вересень—грудень).

Отже, в обох випадках спостерігається досить чітка кореляція характеристик зони розподілу вершин векторів індукції на площині із сонячним часом доби. Відомо, що електропровідність іоносфери в денний період на порядок вища, ніж у нічний. Можливо, в денний період в іоносфері можуть виникати локальні маломасштабні електричні струми, які і спричиняють спостережуване нами явище у поведінці векторів Візе.

Крім того виявилось, що середньорічні значення модулів векторів індукції характеризують явно виражені трендові складові (рис. 6).

Як видно з рис. 6, протягом 1990—2000 рр. була тенденція зменшення середньорічного значення величини модуля (за винятком аномального відхилення у 1996 р., рік мінімуму сонячної активності). У 1989 і 2000 рр. спостерігалися максимуми сонячної активності, середньорічні значення чисел Вольфа відповідно 157 і 119,6. А тенденція до збільшення середньорічного значення величини модуля векторів індукції протягом 2000—2006 рр. установлена для векторів, обчислених як за аналоговими спостереженнями, так і за цифровими даними, тобто трендові зміни тривали протягом цілого 11-річного циклу сонячної активності. Можливо, це якимось чином пов'язане з тим, що полярність магнітного поля Сонця змінюється на протилежну від одного циклу до іншого.

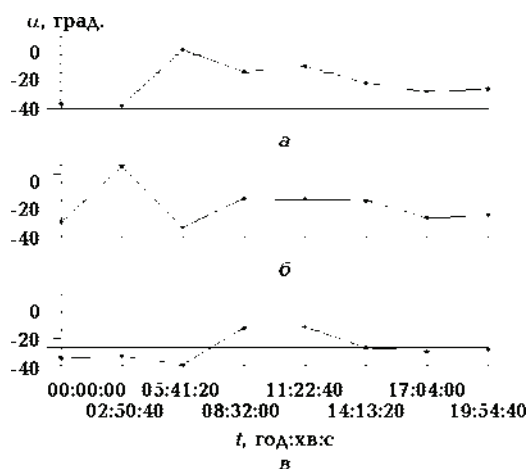


Рис. 5. Азимути головної осі еліпса розсіювання протягом доби по сезонах I—III (а—в). 2004 р., період 5—10 хв. По горизонталі — час, год : хв : с.

Висновки. 1. Зіставлення аномальної поведінки векторів індукції із сейсмічним режимом Закарпаття дало можливість виявити особливості їх аномальних змін залежно від локалізації епіцентрів близьких землетрусів.

2. Вектори Візе у Закарпатському прогині виявляють залежність від періоду сонячної доби, сезону, а також циклу сонячної активності, що, ймовірно, зумовлено змінами провідності іоносфери та полярності міжпланетного магнітного поля.

3. Ці явища накладаються на зміни векторів індукції геодинамічного походження і тому ускладнюють виявлення можливих зв'язків аномальних змін векторів індукції із сейсмічним режимом. Отже, розробка конкретної методології обчислення скалярних параметрів узагальненого рівняння імпедансів [Шуман, 2007] є на сьогодні вельми актуальною.

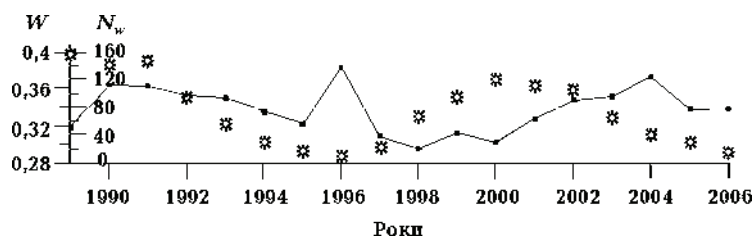


Рис. 6. Залежність середньорічного модуля вектора індукції W (період 45—75 хв) від часу за аналоговими спостереженнями. Зірочки — середньорічні значення чисел Вольфа N_W .

Список літератури

- Бердичевский М.Н., Жданов М.С.* Интерпретация аномалий переменного электромагнитного поля Земли. — Москва: Недра, 1981. — 328 с.
- Бурьянов В.Б., Гордиенко В.В., Кулик С.Н.* Комплексная геофизическая модель литосферы Восточных Карпат // Геофиз. сб. — 1978. — **83**. — С. 3—16.
- Гурский Е.И.* Теория вероятностей с элементами математической статистики. — Москва: Высш. шк., 1971. — 328 с.
- Максимчук В., Городиський Ю., Кузнецова В.* Динаміка аномального магнітного поля Землі. — Львів: Євросвіт, 2001. — 306 с.
- Сейсмологический бюллетень Украины за 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004 годы / Под ред. Б. Г. Пустовитенко.* — Симферополь: Ин-т геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006. — 130 с.; 120 с.; 113 с.; 148 с.; 132 с.; 166 с.
- Семенов В.Ю.* Обработка данных магнитотеллурических полей. — Москва: Недра, 1985. — 324 с.
- Харин Е.П.* Изменчивость передаточных функций электромагнитного поля Земли во времени // Геофиз. журн. — 1981. — ..., № 3. — С. 16—23.
- Харин Е.П., Кузнецова В.Г., Городиський Ю.М., Максимчук В.Е.* Особенности временных изменений передаточных функций геомагнитного поля в Закарпатье // Геофиз. журн. — 1996. — **18**, № 3. — С. 76—83.
- Шуман В.Н.* Методы и модели электромагнитных зондирующих систем: состояние, ограничения и новые возможности // Геофиз. журн. — 2006. — **28**, № 1. — С. 17—30.
- Шуман В.Н.* Мнимые поверхностные векторы в многомерных обратных задачах геоэлектрики // Физика Земли. — 2007. — № 3. — С. 19—24.
- 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.
- Zhamaletdinov A.A.* On Electronically Conductive Nature of the Carpathian Anomaly (Geoelectric, Geothermal and Geodynamic Aspects) // Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc. — 2005. — C-95 (386). — P. 43—58.
- Zeng Xiaoping, Lin Yunfang, Chunrong Xu, Ming Zhao, Yuechen Zhao.* Manual on the forecasting of natural disasters: Geomagnetic methods. — Beijing, 1985. — 147 p.
- Zeng Xiaoping, Lin Yunfang, Ming Zhao.* Study on electric variations of media in epicentral area by geomagnetic transfer functions // Acta Seismol. Sinica. — 1995. — **8**, № 3. — P. 413—418.