

Вариации вектора индукции в Японии

© В. И. Бабак¹, Т. А. Климкович², И. И. Рокитянский¹,
А. В. Терешин¹, 2013

¹Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

²Карпатское отделение Института геофизики НАН Украины,
Львов, Украина

Поступила 5 апреля 2012 г.

Представлено членом редколлегии В. Н. Шуманом

Останні результати свідчать про існування варіацій векторів індукції, що пов'язані з геодинамічними процесами, в тому числі землетрусами та вулканічною діяльністю. Можна припустити, що провісники землетрусів і вивержень вулканів мають аперіодичний режим і з'являються один або кілька разів до події. Результати обробки 3 компонент магнітного поля Землі на 17 японських обсерваторіях представлені часовими рядами компонент векторів індукції. Спостерігаються зміни векторів індукції на 4 обсерваторіях поблизу від катастрофічного землетрусу Тохоку 11.03.2011 р.

Recent results provide evidence for the existence of variations in induction vectors associated with geodynamic processes including earthquakes and volcanic activity. We can suppose that earthquakes (EQ) and volcano eruption precursors have an aperiodic temporal regime appearing once or several times before EQ. Data of processing of 3 components of geomagnetic field in 17 Japanese observatories are presented by temporal sets of induction vector components. For 4 observatories near to catastrophic Tohoku earthquake of 11.03.2011 the variations of induction vectors are presented.

Введение. Прогноз землетрясений, несмотря на значительные усилия ученых разных стран мира, остается нерешенной проблемой современной геофизики. Особое место в решении этой проблемы занимают исследования предвестников землетрясений. Многочисленные наблюдения в сейсмоактивных регионах показали, что подготовка сильных землетрясений сопровождалась различными возмущениями: режимом слабой сейсмичности, наклоном и деформацией земной поверхности, уровнем подземных вод, их химическим составом, электрической проводимостью земной коры, электромагнитных и магнитных полей и т. д. [Earthquake ..., 1988; 1990; Рикитакэ, 1979; Мячкин, Зубков, 1973].

Попытки использования магнитовариационных наблюдений при изучении предвестников землетрясений предпринимаются во многих странах на протяжении нескольких десяти-

летий. Использование этого метода для исследования сейсмотектонических процессов основывается на возможности выявления изменения во времени параметров электромагнитной индукции (векторов Визе), связанных с изменениями геоэлектрической среды.

Интересный результат был представлен по данным обсерватории Сурлари (зона Вранча, Румыния), где вектор индукции возрос от 0,3 в 1961 г. до 0,45 в 1967 г., когда неглубокое коровое землетрясение с магнитудой $M > 5$ произошло на расстоянии 40 км. Более сильным, но глубоким (более 80 км) землетрясениям в этой зоне не предшествовали изменения вектора индукции [Kharin, 1982]. Сообщалось также о значительном и длительном изменении вектора индукции после очень сильного землетрясения в 1923 г. в Японии [Shiraki, Yanagihara, 1977]. В Китае с начала 1970-х годов более 40 магнитных обсерваторий были установ-

лены в сейсмически активных регионах. Аномальные изменения вектора индукции ($T = 10 \div 20$ мин) с продолжительностью от нескольких месяцев до двух лет наблюдали перед несколькими землетрясениями: Хайченг (Haicheng $M = 7,3$) 1975 г., Таншань (Tangshan $M = 7,8$) 1976 г., Сунпень (Songpan $M = 7,2$) 1976 г., Хезе (Heze $M = 5,9$) 1983 г. [Zeng et al., 1998].

После недавнего катастрофического землетрясения 11.03.2011 у берегов Японии авторами были обработаны доступные данные по 17 японским геомагнитным обсерваториям (рис. 1) за последние 10—20 лет.

Краткое описание метода. Среди различных параметров, которые получают в результате обработки данных магнитовариационных наблюдений, наиболее часто используют передаточные функции — векторы Визе — Паркинсона (векторы индукции) и горизонтальный магнитный тензор. Вектор индукции определяется так:

$$\mathbf{C} = A \mathbf{e}_x + B \mathbf{e}_y, \quad (1)$$

где $\mathbf{e}_x, \mathbf{e}_y$ — единичные векторы, x указывает на север, y — на восток. Компоненты A и B определяются из линейного соотношения

$$B_z = A B_x + B B_y, \quad (2)$$

где B_x, B_y — горизонтальные компоненты магнитного поля; B_z — вертикальная компонента. В уравнении (2) все величины комплексные и зависят от периода T вариации геомагнитного поля.

Вектор Визе — Паркинсона имеет соответственно действительную и мнимую части:

$$C_u = A_u \mathbf{e}_x + B_u \mathbf{e}_y, \quad (3)$$

$$C_v = A_v \mathbf{e}_x + B_v \mathbf{e}_y. \quad (4)$$

Действительные векторы индукции обладают важным свойством: вектор Визе направлен от области повышенной проводимости, а вектор Паркинсона, наоборот, — в сторону хорошего проводника.

Компоненты горизонтального магнитного тензора $[M] = \begin{bmatrix} M_{xx} & M_{xy} \\ M_{yx} & M_{yy} \end{bmatrix}$ связывают горизонтальные компоненты геомагнитного поля в двух точках земной поверхности и определяются из системы линейных уравнений:

$$\begin{aligned} B_x(r_1) &= M_{xx} B_x(r_0) + M_{xy} B_y(r_0), \\ B_y(r_1) &= M_{yx} B_x(r_0) + M_{yy} B_y(r_0), \end{aligned} \quad (5)$$

где r_0 и r_1 соответствуют базовой и исследуемой точкам наблюдения соответственно. Тензор $[M]$ отражает изменение геоэлектрического разреза между полевой и базовой точками.

Результаты обработки данных. Для определения векторов индукции использовалась программа обработки, разработанная [Климкович, 2009]. Входными данными были временные ряды трехкомпонентных наблюдений геомагнитного поля с дискретностью одно измерение в минуту. Программа позволяет рассчитать вектор индукции для пяти диапазонов периодов: 2,5—5, 5—10, 10—20, 20—40, 40—60 мин. Для каждого из пяти диапазонов за все время регистрации (10—20 лет) были рассчитаны среднемесячные значения четырех компонент A_u, B_u, A_v, B_v . Таким образом, были получены временные ряды компонент вектора индукции с дискретностью 1 месяц. Вообще, при обработке эти компоненты получали с дискретностью 1 сутки, но они характеризовались значительным разбросом ото дня ко дню, вызванным некоторыми погрешностями, природа которых до конца не выяснена и будет исследована в дальнейшем. Рассмотрение временных рядов компонент вектора индукции показывает наличие как периодических, так и аperiodических изменений. Большая часть данных показывает стабильное поведение векторов индукции.

На рис. 1 даны среднегодовые действительные и мнимые векторы индукции для четырех диапазонов периодов по данным за 2011 г. Для обсерваторий, расположенных недалеко от береговой линии, действительные векторы индукции обнаруживают тенденцию быть направленными от океана, однако в ряде пунктов эта тенденция нарушается, что указывает на наличие коровых или верхнемантийных аномалий электропроводности соответствующего масштаба.

На некоторых обсерваториях отчетливо видны годовые вариации действительных и /или мнимых компонент вектора. В качестве примера на рис. 2 приведены графики компонент вектора индукции для обсерваторий НАР и КАК.

Кроме периодических вариаций во временных рядах компонент векторов Визе наблюдаются и аperiodические изменения. Они имеют бухтообразную форму, наложенную на многолетний тренд, длительностью от нескольких месяцев до несколько лет. Можно предположить, что эти аномальные изменения связаны с подготовкой землетрясений и появляются перед сейсмическим событием. Такое поведение компонент векторов Визе наблюдается на четырех

станциях (рис. 3) в течение нескольких лет, предшествующих катастрофическому землетрясению 11 марта 2011 г. у берегов Японии. Изменения векторов индукции за последние 20 лет показаны на карте (рис. 4), там же представлены эпицентры землетрясений. Эти изменения не наблюдаются на длинных периодах 40—60 мин. Они появляются на периодах 10—20 мин и наиболее отчетливо видны на коротких периодах 5—10 мин и короче.

Интересно, что на обсерватории KNZ наблюдается еще одна отрицательная аномалия компонент A_u (1999—2003) и A_v (2001—2003). Возможно, эта аномалия является предвестни-

ком землетрясения 25.09.2003 г. у берегов о-ва Хоккайдо ($M=8,3$).

С помощью синхронной обработки показано, что на обсерватории KNZ горизонтальное магнитное поле по программе И.М. Варенцова [Варенцов, 2005] на коротких периодах $T < 1000$ с на 40 % больше, чем на КАК. Этот факт может быть использован для объяснения предвестниковых изменений A_u и B_u на этой обсерватории.

Обсуждение. В статье представлены эмпирические данные об особенностях поведения вектора индукции и их сравнение с пространственно-временным распределением сильных землетрясений в регионе.

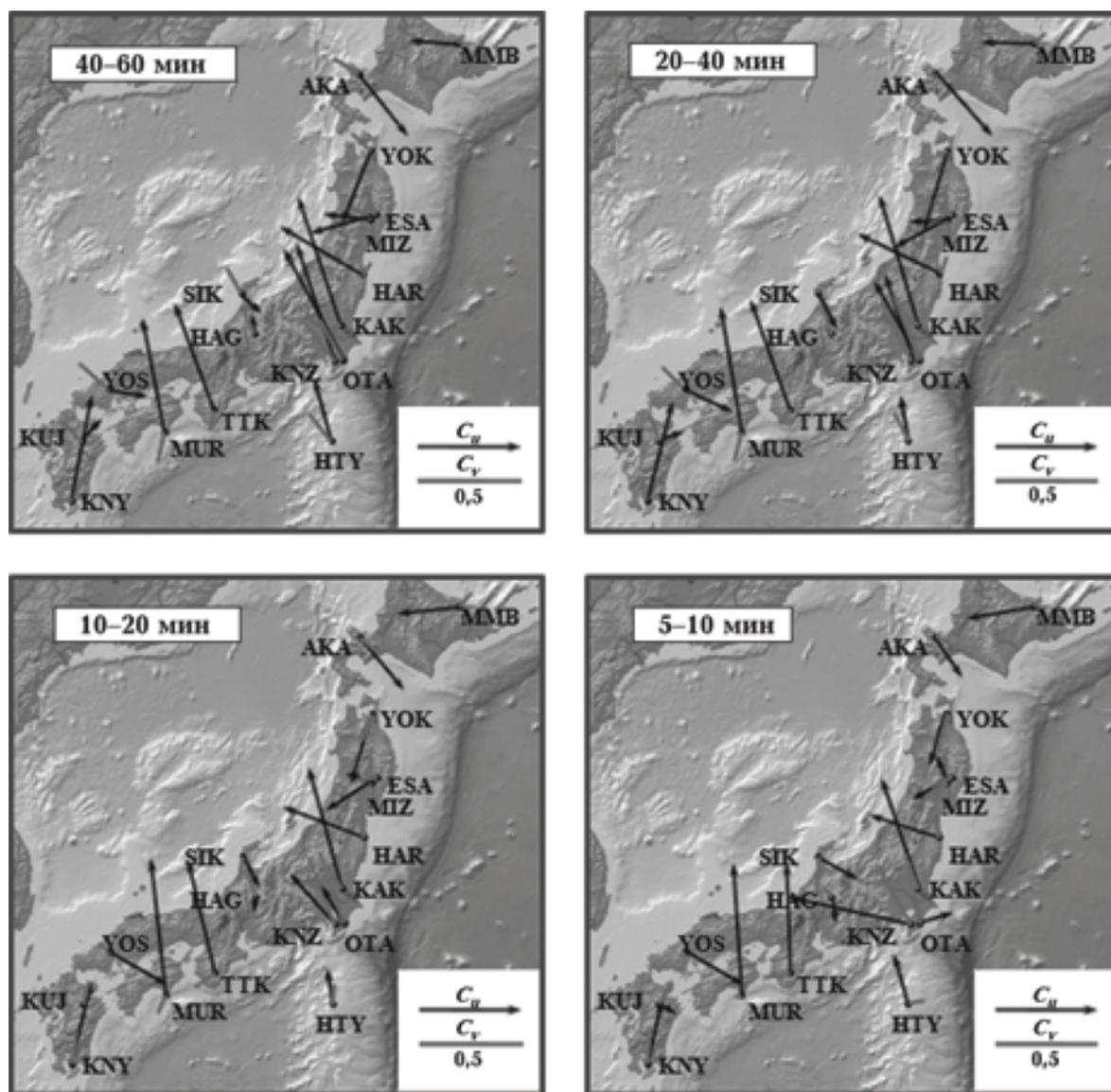


Рис. 1. Средние за 2011 г. векторы индукции на 17 обсерваториях Японии для четырех диапазонов периодов 40—60 мин, 20—40 мин, 10—20 мин, 5—10 мин.

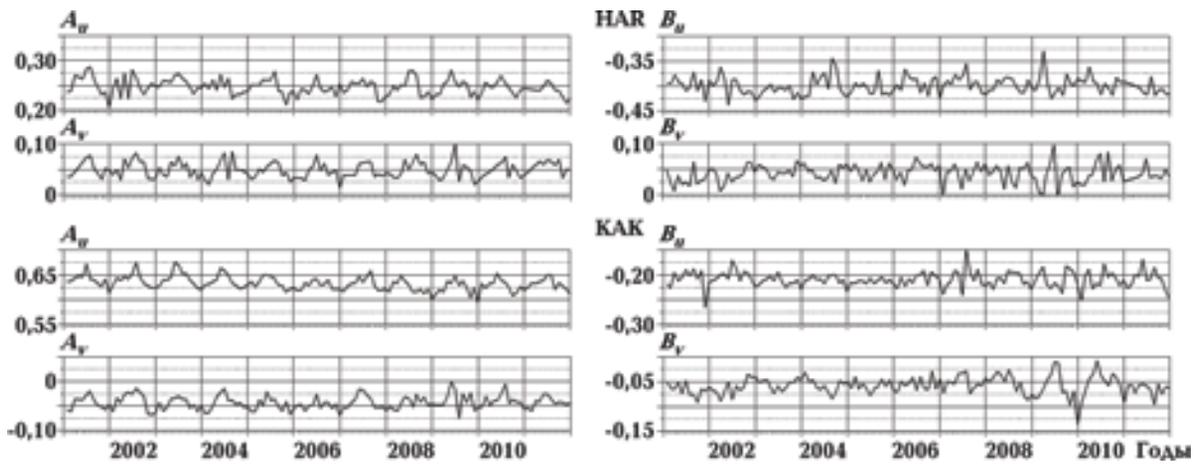


Рис. 2. Пример годовых вариаций векторов индукции по данным обсерваторий HAR и KAK для диапазона периодов 40—60 мин. Представлены среднемесячные значения компонент векторов индукции.

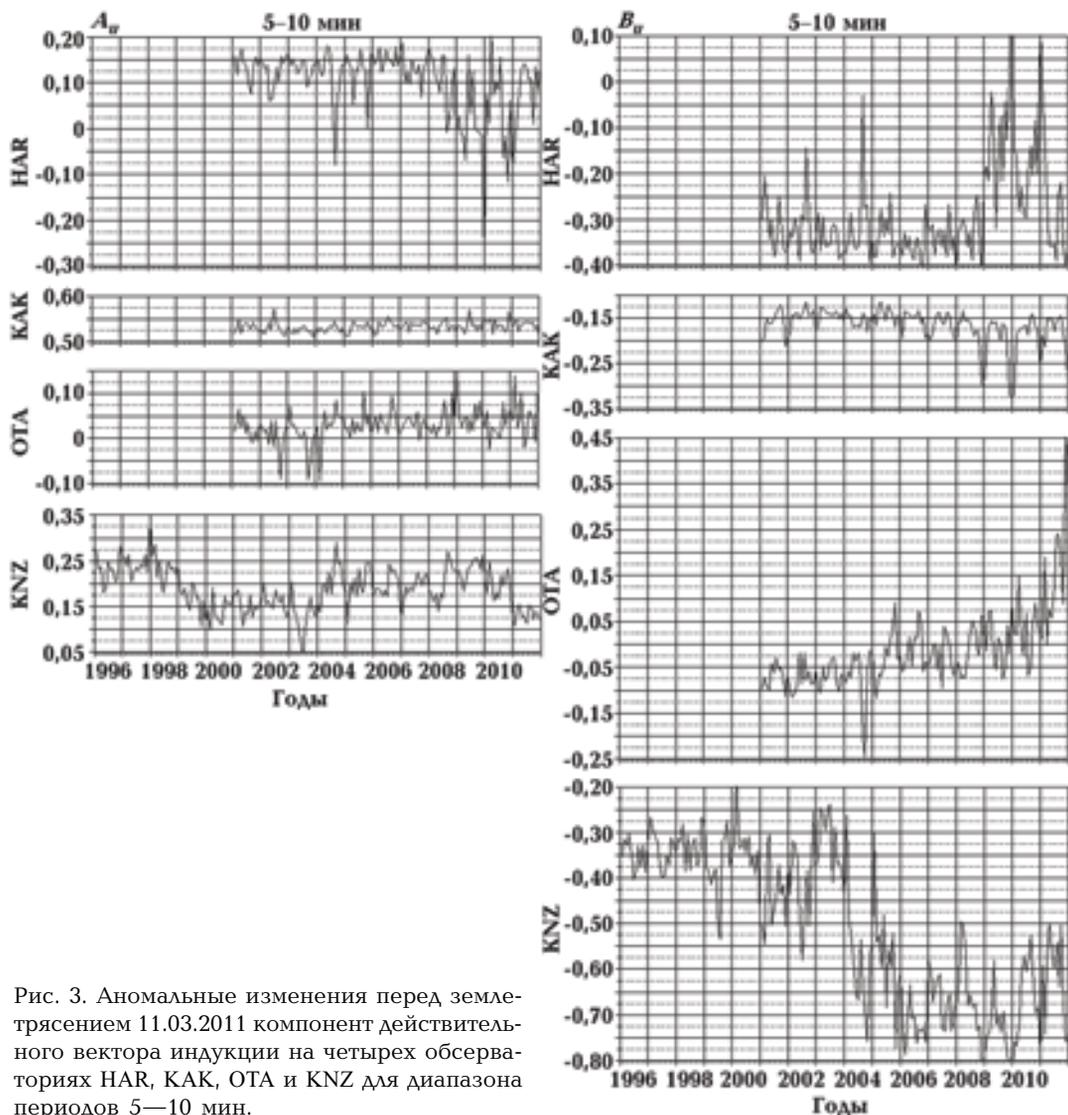


Рис. 3. Аномальные изменения перед землетрясением 11.03.2011 компонент действительного вектора индукции на четырех обсерваториях HAR, KAK, OTA и KNZ для диапазона периодов 5—10 мин.

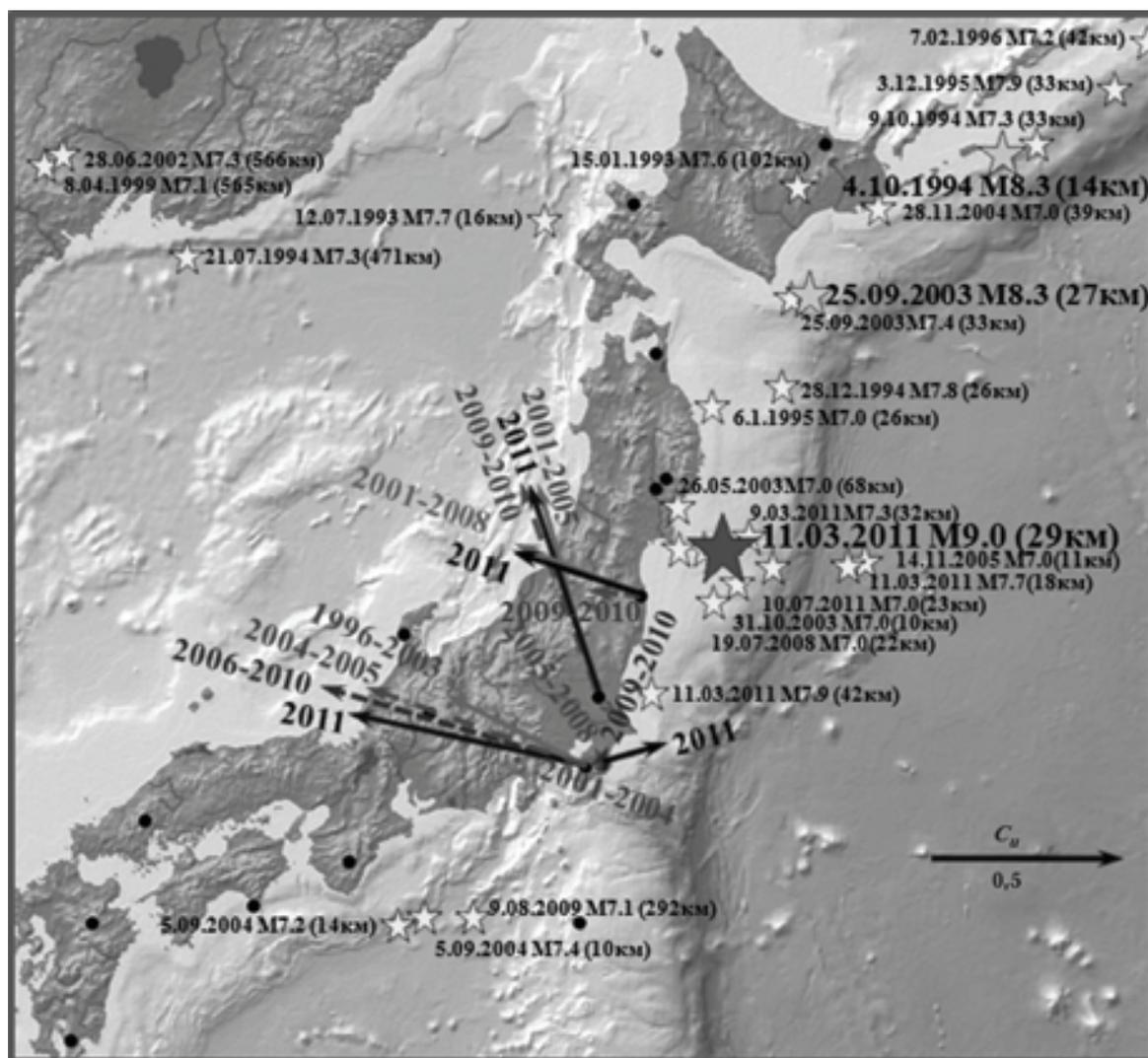


Рис. 4. Сильнейшие землетрясения в Японии за последние 20 лет. Маленькие белые звезды — землетрясения с $M = 7 \div 8$, серые — $M = 8 \div 9$, большая — $M = 9$. Для четырех обсерваторий HAR, KAK, OTA и KNZ представлены действительные векторы индукции за разные интервалы наблюдения для периодов 5—10 мин.

Анализ многолетних среднемесячных рядов значений параметров векторов Визе для японских обсерваторий показал, что в них присутствуют вариации различной периодичности и происхождения: годовые вариации, вероятно, связаны в основном с изменением параметров внешнего источника, однако возможна и геодинамическая составляющая, связанная с годовым вращением Земли вокруг Солнца. Многолетние вариации и тренды, вероятнее всего, связаны с геодинамическими процессами, изменяющими электропроводность коры и мантии, хотя аппаратурная составляющая и индустриальные помехи могут вносить свой вклад.

Апериодические вариации с периодами от дней до месяцев, наиболее интересные для краткосрочного прогноза и зарегистрированные перед рядом землетрясений для своего достоверного выделения требуют тщательной обработки и анализа.

Вариации вектора индукции геодинамического происхождения могут быть вызваны изменением подземной электропроводности и литосферной эмиссией электромагнитного поля. Изменения вектора Визе и других функций отклика открывают новый канал информации из недр Земли для исследования геодинамических процессов.

Благодарность. Авторы выражают благодарность сотрудникам геомагнитных обсерваторий и организациям по сбору и хранению информации (Geospatial Information Authority

of Japan (GSI), Kakioka Magnetic Observatory, Japan Meteorological Agency (КМО-ЖМА), World Data Center for Geomagnetism, Kyoto) за предоставление качественных данных.

Список литературы

- Варенцов И. М.* Массивы синхронных ЭМ зондирований: методы построения и анализа // Электромагнитные исследования земных недр. — Москва: Научный мир, 2005. — С. 143—156.
- Климкович Т. А.* Особливості часових змін аномального магнітного поля та векторів індукції у закарпатському сейсмоактивному прогині: Дис. ... канд. фіз.-мат. наук. — Київ, 2009. — 195 с.
- Мячкин В. И., Зубков С. И.* Сводный график предвестников землетрясений // Изв. АН СССР. Физика Земли. — 1973. — № 6. — С. 28—32.
- Рикитаке Т.* Предсказание землетрясений. — Москва: Мир, 1979. — 388 с.
- Earthquake cases in China (1966—1975, 1976—1980, 1981—1985).* — Beijing: Seismol. press, 1988, 1990.
- Kharin E. P.* Changes in transfer functions with time // Geophys. Surv. — 1982. — № 4. — P. 455—466.
- Rokityansky I. I.* Geoelectromagnetic investigation of the Earth's crust and upper mantle. — Berlin; Heidelberg; New York: Springer Verlag, 1982. — 381 p.
- Shiraki M., Yanagihara K.* Transfer function at Kakioka (Part II). Reevaluation of Their Secular Changes // Memoirs of the Kakioka magnetic observatory. — 1977. — 17. — P. 19—25.
- Zeng X., Lin Y., Xu C., Zhao M., Zhao Y.* Manual on the forecasting of natural disasters: geomagnetic methods // UN International Workshop on Geomagnetic Methods, Beijing, China, 12—18 February, 1998. — 147 p.