

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

ISSN 2224-5278

Volume 6, Number 420 (2016), 74 – 81

O. M. Beloslyudtsev, N. B. Uzbekov, L. T. Bahareva, E. M. Musaev

Institute of Seismology, Almaty, Kazakhstan

ANALYSIS OF LOW-FREQUENCY VARIATIONS OF THE ELECTROMAGNETIC FIELD

Abstract. In work results of the analysis of temporary ranks with discretization of 1 minutes of regime geomagnetic supervision are given in the Almaty predictive ground during 1993–2015. Morphological features and existential characteristics of low-frequency geomagnetic variations are investigated. Calculations of function of mutual ranges, cross-correlation function, energy of oscillatory process of a magnetic field, shown in the form of change of "the schedule length" allow to allocate short-term anomalies with duration from the first days to less than one month before the earthquakes which have occurred in close proximity to magnetovariation stations. The separate program allowing to load counting on all MVS of the ground and to carry out the mathematical analysis for identification of the specific signals appearing at a final stage of preparation of earthquakes is developed for the analysis of the big array of one-minute data: local high-frequency signals; sporadic short-period statistically significant signals. Application of 1-minute these modular measurements of the electromagnetic field has allowed to apply also the analysis methods which weren't giving a positive effect when using data of bigger discretization. On the example of separate earthquakes process of realization of the offered technique as a result of which significant short-term anomalies before local seismic events, lasting no more than 1 month before the earthquakes which have occurred in close proximity to magnetovariation stations have been marked out is shown.

Keywords: Almaty prognostic ground, low-frequency geomagnetic variations, module of the geomagnetic field, magnetovariation stations, the relative ranges, cross-correlation function, software, seismic events, anomalies, harbingers of earthquakes.

УДК 550.34

О. М. Белослюдцев, Н. Б. Узбеков, Л. Т. Бахарева, Е. М. Мусаев

Институт сейсмологии, Алматы, Казахстан

АНАЛИЗ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ВАРИАЦИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Аннотация. Приведены результаты анализа временных рядов с дискретностью 1 минут режимных геомагнитных наблюдений на Алматинском прогностическом полигоне за период 1993–2015 гг. Исследованы морфологические особенности и пространственно-временные характеристики низкочастотных геомагнитных вариаций. Расчеты функции взаимных спектров, взаимно-корреляционной функции, энергии колебательного процесса магнитного поля, проявляющаяся в виде изменения «длины графика» позволяют выделить краткосрочные аномалии с длительностью от первых суток до менее одного месяца перед землетрясениями, произошедшими в непосредственной близости от магнитовариационных станций.

Ключевые слова: Алматинский прогностический полигон, низкочастотные геомагнитные вариаций, модуль геомагнитного поля, магнитовариационные станций, взаимные спектры, взаимно-корреляционная функция, программные средства, сейсмические события, аномалий, предвестники землетрясений.

Исследование связи вариаций магнитного поля с сеймотектоническими процессами (землетрясениями) проводятся во всех сейсмоопасных районах мира. Физической основой изменения геомагнитного поля (ГМП) являются процессы разрушения (дислокация) и физико-химические явления, протекающие во флюидопроводящих системах и прилегающих породах.

В настоящее время на АПП функционируют 14 модульных и 4 компонентных магнитовариационных станций (МВС) (рисунк 1).



Рисунок 1 – Схема расположения магнитовариационных станций на Алматинском прогностическом полигоне

Figure 1 – The scheme of an arrangement of magnetovariation stations on the Almaty prognostic ground

Аппаратурный парк полигона оснащен прецизионными приборами МВ-07 (модульный) и МВ-03 (компонентные). Среднеквадратическая погрешность приборов составляет 0.1 нТл. Систематическая погрешность абсолютных измерений не более ± 0.5 нТл. Дискретность измерения – 1 мин. (с 1998 года).

Исследование метрологических параметров и оценка аппаратурно-методических погрешностей приборов показало, что как при кратковременных, так и при долговременных наблюдениях может быть реализована точность измерений на уровне первых десятых долей измеряемых величин [1-4].

Ранне методика обработки геомагнитных данных была нацелена на обработку мгновенных часовых значений ГМП и формирования из них значения поля различной дискретности более низкого порядка (суточных, месячных и др.) для последующего анализа [5-7]. Такая методика, с одной стороны ограничивала возможности поиска полезного сигнала на более высокочастотном спектре поля, с другой стороны привела к определенному искажению амплитудно-частотных особенностей искомого сигнала.

Помимо этого ранними исследованиями связи вариаций ГМП с сеймотектоническими процессами методами линейного и нелинейного анализа установлено, что на заключительной стадии подготовки землетрясений появляются: локальные высокочастотные сигналы; спорадические короткопериодные статистически значимые сигналы. При математическом анализе сигналов удается выделить аномалии – предвестники [8, 9]. Все эти факторы обуславливают актуальности анализа низкочастотных вариаций ГМП с целью поиска краткосрочных геомагнитных предвестников на АПП.

К настоящему времени накоплены ряды наблюдений с дискретностью 1 мин. длительностью более 20 лет (1993–2015 гг.). Это позволяет провести детальный анализ пространственно-временных и морфологических особенностей низкочастотных геомагнитных вариаций. Необходимость анализа 1 минутных ГМП данных без их осреднения в часовые и суточные, потребовала разработки алгоритмов и программных средств их коррекции с учетом характера наблюдаемых вариаций ГМП. Ранее разработанные алгоритмы и программы коррекции среднесуточных и часовых данных [2, 4, 10] не могут быть прямым образом адаптированы для коррекции 1-минутных данных. Прежде всего, это учет характера протекания природных вариаций ГМП, а также значительное увеличение физических объемов данных – количество 1 минутных измерений в год составляет более 500 000 значений по каждому из обрабатываемых каналов.

Коррекция реализована отдельной программой, которая позволяет загрузить полные сутки по всем МВС полигона.

Ранее разработанные нами [7-9], принципы выделения аномалий во временных рядах более низкой дискретности (мгновенно часовые, суточные и др.) были адаптированы применительно к временным рядам с 1 минутной дискретности.

В процессе выявления информативности геомагнитных данных производилась их обработка с подбором наиболее эффективными способами [8, 9] для каждого параметра и станции (локализация признаков-предвестников).

Расчеты функции взаимных спектров суточных значений модуля T позволяют выделить аномалии, не связанные, как правило, с сезонными явлениями и трендом магнитного поля. На графиках взаимно-корреляционной функции геомагнитных вариаций выделяются аномальные периоды, предвещающие сильные землетрясения Сев. Тянь-Шаня. На рисунке – 2 показаны примеры выделения краткосрочных аномалий во временных рядах геофизических параметров – в длине графика («энергия») E_{14} 14-суточной волны в скользящем окне длиной $L = 21$ сут. $E_{14} = \sum |x_i - x_{i-1}|$. В этом случае выделение аномалии становится возможным в реальном времени – превышение порога доверительного интервала, обозначающее начало аномалии, предвещает сильное землетрясение.

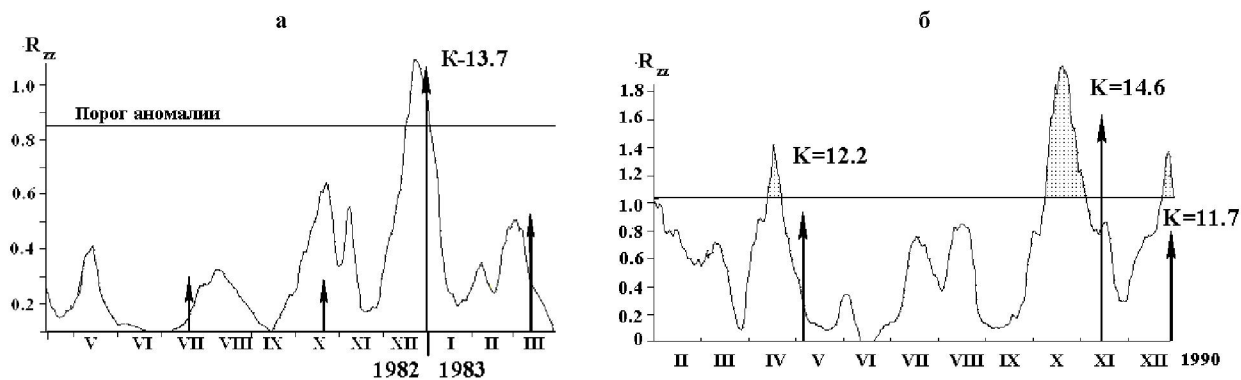


Рисунок 2 – Пример выделения аномалии в геомагнитном поле перед землетрясениями 31.12.1982 г. с $K = 13.7$ (а) и 12.11.1990 г. с $K = 14.6$ (б) на МВС «Турген»

Figure 2 – An example of selection of anomaly in the geomagnetic field before earthquakes of 31.12.1982 with $K = 13.7$ (a) and 12.11.1990 with $K = 14.6$ (b) on MVS "Turgen"

Энергия колебательного процесса магнитного поля, проявляющаяся в виде изменения «длины графика» (L графика – термин из нелинейных методов математического анализа), проявляется в виде краткосрочных аномалий накануне локальных сейсмических событий. Расчеты проводились относительно опорной МВС – «Курты», при этом берется отношение энергии колебательного процесса в вариациях геомагнитного поля между рядовыми МВС и опорной. Выделяются значимые краткосрочные аномалии перед локальными сейсмическими событиями, продолжительность аномалий – не более 1 месяца перед землетрясениями, произошедшими в непосредственной близости от МВС (рисунки 3 и 4).

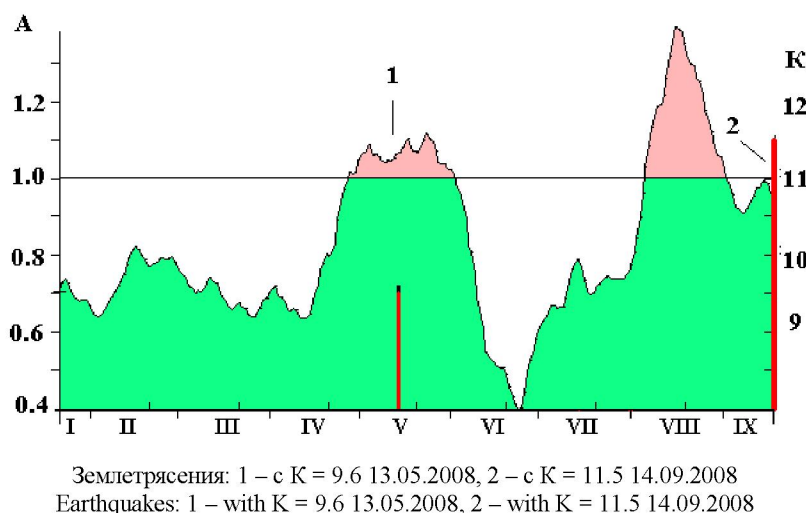


Рисунок 3 – График аномальной компоненты геомагнитного поля, выделенной в параметре L графика на МВС «Турген» накануне землетрясения с $K = 11,5$ 14.09.2008

Figure 3 – The schedule of the abnormal component of the geomagnetic field allocated in the parameter L of the schedule for MVS "Turgen" on the eve of an earthquake with $K = 11,5$ 14.09.2008

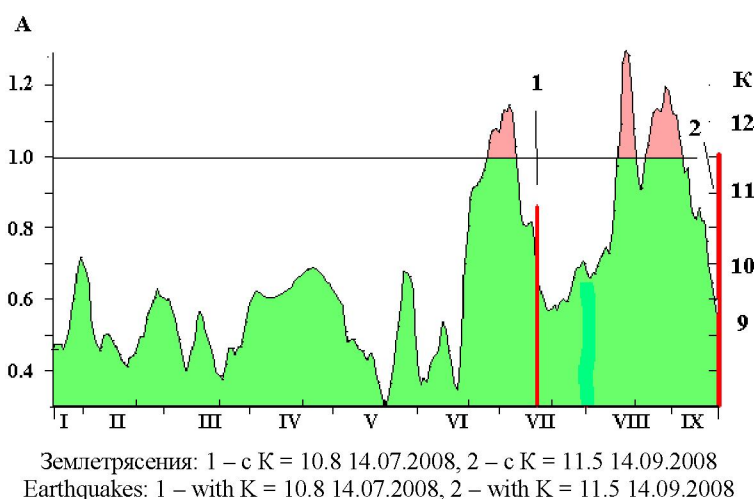


Рисунок 4 – График аномальной компоненты геомагнитного поля, выделенной в параметре L графика на МВС «Курам» накануне землетрясения с $K = 11.5$ 14.09.2008

Figure 4 – The schedule of the abnormal component of the geomagnetic field allocated in the parameter L of the schedule for MVS to "Kuram" on the eve of an earthquake with $K = 11.5$ 14.09.2008

Разработанные программные средства коррекции 1-минутных данных модульных геомагнитных наблюдений позволили проводить анализ тонкой структуры вариаций, и выделить новые параметры аномальной компоненты, перспективных к использованию при краткосрочном прогнозе. На примере землетрясения с $K = 12.8$, происшедшего 01.05.2011 г. на АПП, приведены основные результаты применения методов анализа 1-минутных модульных наблюдений. На рисунке 5 показан временной ход модуля полного вектора T геомагнитного поля с 1-минутной дискретностью измерений по опорной станции Курты за период конец марта – начало апреля 2011 г. Рассчитанные разностные значения ΔT между рядовыми МВС полигона и опорной – Курты, сглаженные графики которых приведены на рисунке 6. Из рисунка видно, что в период, предшествующий землетрясению, на графиках разностных значений на рядовых станциях Саты, Кастек и Курам изменения уровня поля не зафиксированы (кривые а, б и в).

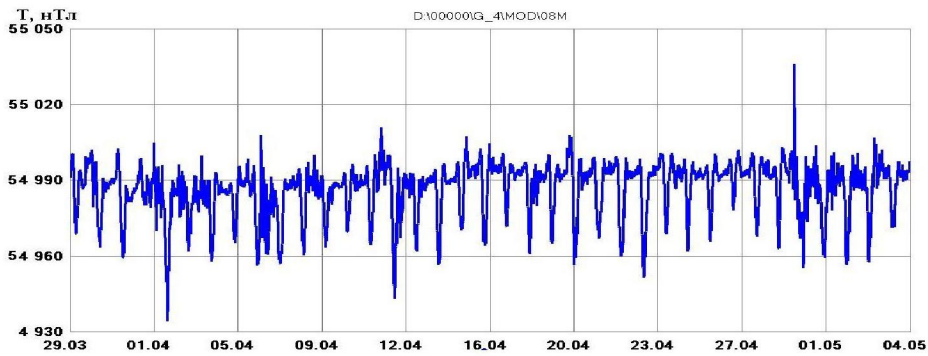


Рисунок 5 – График 1-минутных скорректированных значений модуля полного вектора магнитного поля на МВС Курты в апреле 2011 г.

Figure 5 – The schedule of the 1-minute corrected values of the module of the complete vector of a magnetic field on Kurty MVS in April, 2011

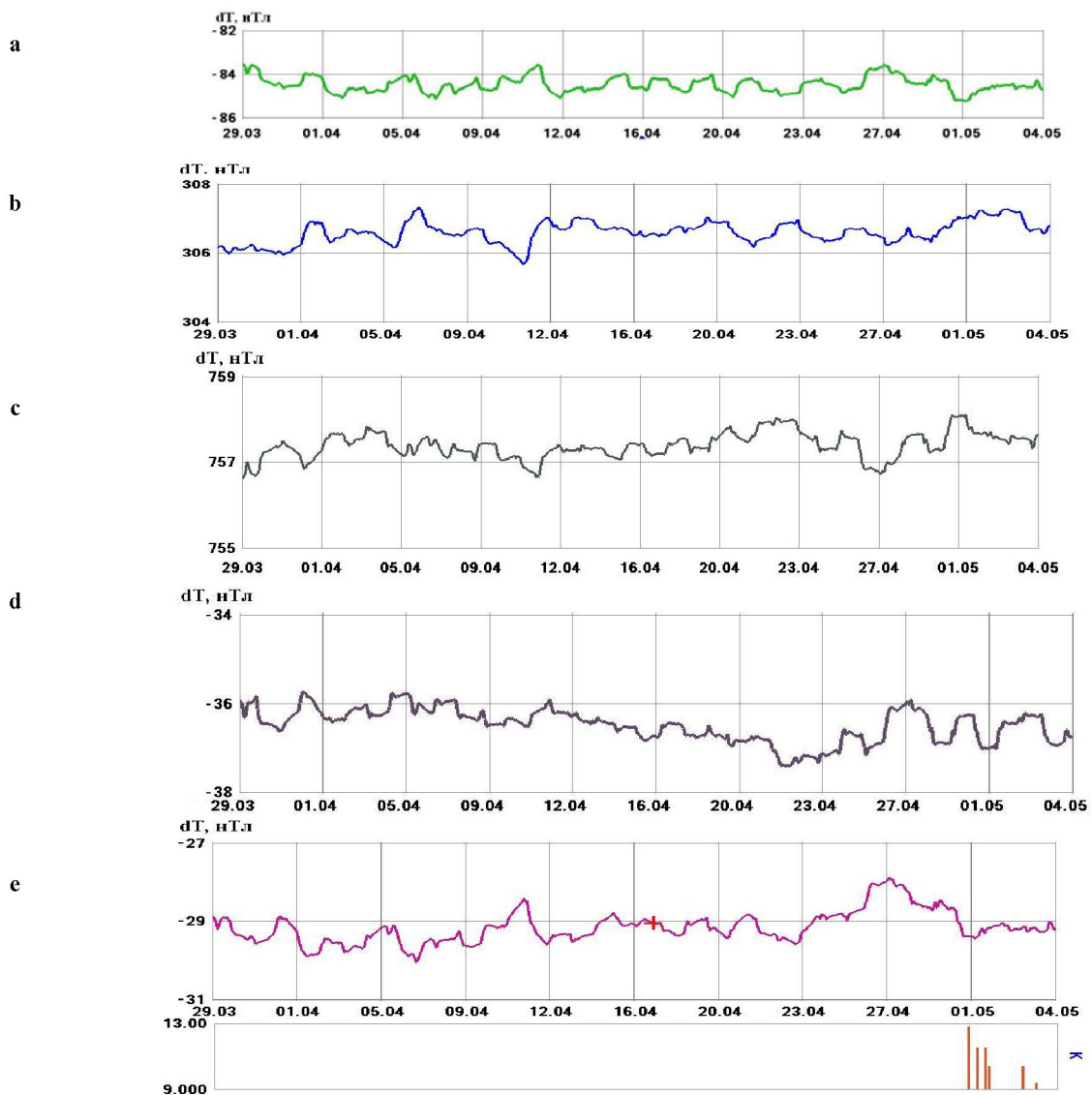


Рисунок 6 – Графики 1-минутных сглаженных значений разностного геомагнитного поля ΔT на станциях Саты (а), Кастек (b), Курам (с), Калкан (d) и Турген (e) по отношению к опорной станции Курты в апреле 2011 г.

Figure 6 – Schedules of 1-minute rounded values of the difference geomagnetic field ΔT at Saty (a) stations, Kastek (b), to Kurty (c), Kalkan (d) and Turgen (e) in relation to basic station of Kurty in April, 2011

На МВС «Калкан», расположенной к северо-востоку от эпицентра, отмечено бухтообразное понижение уровня длительностью около 15 суток с максимальной амплитудой 0.8 нТл (кривая г). На МВС «Тургень» перед землетрясением проявилась короткая положительная бухта амплитудой около 1 нТл длительностью 4 суток (кривая д). Следует отметить, что аномальные изменения разностного геомагнитного поля перед землетрясениями с $K > 14$ ранее на АПП не отмечались, так как для анализа использовались среднесуточные и мгновенные значения часовых измерений. Использование 1-минутных измерений для выделения проявлений тектономагнитного эффекта является более перспективным, поскольку при качественной коррекции данных и большая статистика позволяют выделять аномалии длительностью от первых суток и амплитудой менее 1 нТл (подавление природных и аппаратурных шумов).

Использование 1-минутных данных модульных измерений, в связи с возможностью работать с большими массивами позволило применить методы анализа, не дававшие положительного эффекта при использовании данных большей дискретности. Так, на рисунке 7 показана аномалия в величине корреляционной функции R_{xy} модуля Т магнитного поля, рассчитанной в окне 1 сутки с шагом в 1 минуту между МВС «Тургень» и «Курты». В результате выделена аномалия длительностью 3 суток перед землетрясением 01.05.2011 г. Пространственное распределение, рассчитанное R_{xy} на 29 апреля для МВС центральной части полигона, показано на рисунке – 8.

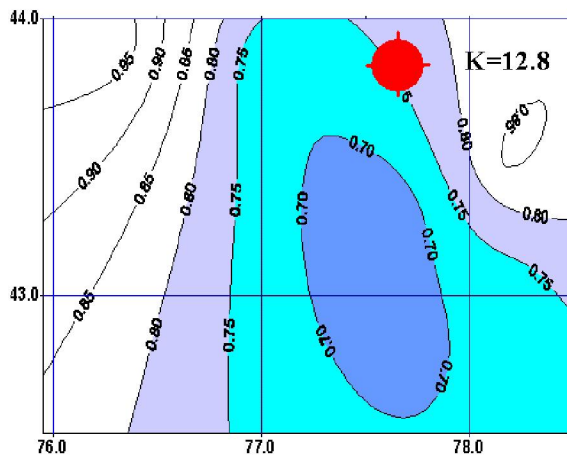


Рисунок 7 – График 1-минутных значений корреляционной функции модуля Т геомагнитного поля между МВС «Тургень» и «Курты» в апреле 2011 г.

Figure 7 – The schedule of 1-minute values of correlative function of the module T of the geomagnetic field between MVS "Turgen" and "Kurty" in April, 2011

Рисунок 8 – Пространственное распределение R_{xy} в центральной части Алматинского полигона на 29 апреля 2011 г. относительно МВС «Мерке»

Figure 8 – The spatial distribution of R_{xy} in the central part of the Almaty ground for April 29, 2011 is relative MVS to "Merke"



Таким образом, в результате анализа тонкой структуры геомагнитного поля (его модуля) по 1-минутным данным, позволило получить новые и перспективные для краткосрочного прогноза, параметры и методики.

Работа выполнена в рамках гранта № 0215 РК 00461 КН МОН РК.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бушуев А.В. Исследование вариаций геомагнитного поля в связи с прогнозированием землетрясений в Юго-Восточном Казахстане: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. – М., 1982. – 21 с.
- [2] Курскеев А.К., Бушуев А.В., Казаков В.В. Геомагнитные исследования в сейсмоактивных районах Казахстана. Сейсмичность и прогнозирование землетрясений в Казахстане. – Алма-Ата: Наука, 1983. – С. 96-118.
- [3] Белослюдов О.М. Особенности тонкой структуры вариаций геофизических полей в связи с прогнозом землетрясений в Северном Тянь-Шане: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. – Алматы, 2004. – 34 с.
- [4] Узбеков Н.Б. Вариации геомагнитного поля в связи с сейсмичностью в Северном Тянь-Шане: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. – Алматы, 2001. – 21 с.
- [5] Uzbekov N.B. Mathematical Models of Variations of Geophysical Fields // 99 International Symposium on Tianshan Earthquakes. Collection of Paper Abstracts. China. –Urumqi. Sept. 15-18, 1999. – P. 129-130.
- [6] Узбеков Н.Б. Тонкая структура вариаций геомагнитного поля в сейсмоактивных районах Казахстана и Средней Азии. Геодинамика и геожелогия высокогорных регионов в XXI веке. Третий Международный симпозиум 30 октября – 6 ноября 2005 г. Тезисы докладов. – Бишкек, 2005. – С. 49-50.
- [7] Узбеков Н.Б. Вариации геомагнитного поля и сейсмотектонические процессы. Прогноз землетрясений, оценка сейсмической опасности и сейсмического риска Центральной Азии // Сборник докладов 7-го Казахстанско-Китайского Международного Симпозиума, 2-4 июня 2010 г. – Алматы: Эверо. – С. 126-130.
- [8] Узбеков Н.Б., Белослюдов О.М. Выделение краткосрочных аномалий в вариациях геомагнитного поля // Уральский геофизический вестник РАН УрО ИГ. – 2005. – № 8. – Екатеринбург, 2005. – С. 63-67.
- [9] Узбеков Н.Б., Белослюдов О.М., Узбеков А.Н. Поиск локальных аномалий в геомагнитном поле на основе вейвлет-анализа и фрактальной размерности. Активные геологические и геофизические процессы в литосфере. Методы, средства и результаты изучения. // Материалы XII международной конференции (Научные доклады и сообщения), 18-23 сент. 2006 года. Россия. – Воронеж, 2006. – Т. II [Н-Я]. – С. 207-212.
- [10] Мажженов С.А., Белослюдов О.М., Курскеева Г.А., Эйдлина И.М. Восстановление вариаций магнитного поля в режимных наблюдениях, полученных на станциях Алма-Атинского прогностического полигона // Изв. АН РК. – 1992. – № 2. – С. 67-71.

REFERENCES

- [1] Bushuev A.V. Issledovanie variacij geomagnitnogo polja v svjazi s prognozirovaniem zemletrjasenij v Jugo-Vostochnom Kazahstane: Avtoref. dis. ... kand. fiz.-mat. nauk. M., 1982. 21 p.
- [2] Kurskeev A.K., Bushuev A.V., Kazakov V.V. Geomagnitnye issledovanija v sejsmoaktivnyh rajonah Kazahstana // Sejsmichnost' i prognozirovanie zemletrjasenij v Kazahstane. Alma-Ata: Nauka, 1983. P. 96-118.
- [3] Belosljudcev O.M. Osobennosti tonkoj struktury variacij geofizicheskikh polej v svjazi s prognozom zemletrjasenij v Severnom Tjan'-Shane: Avtoref. dis. ... kand. fiz.-mat. nauk. Almaty, 2004. 34 p.
- [4] Uzbekov N.B. Variacii geomagnitnogo polja v svjazi s sejsmichnost' v Severnom Tjan'-Shane: Avtoref. dis. ... kand. fiz.-mat. nauk. Almaty, 2001. 21 p.
- [5] Uzbekov N.B. Mathematical Models of Variations of Geophysical Fields. // 99 International Symposium on Tianshan Earthquakes. Collection of Paper Abstracts. China. Urumqi. Sept. 15-18, 1999. P. 129-130.
- [6] Uzbekov N.B. Tonkaja struktura variacij geomagnitnogo polja v sejsmoaktivnyh rajonah Kazahstana i Srednej Azii. Geodinamika i geojekologija vysokogornyh regionov v XXI veke // Tretij Mezhdunarodnyj simpozium 30 oktjabrja – 6 nojabrja 2005 g. Tezisy докладov. Bishkek, 2005. P. 49-50.
- [7] Uzbekov N.B. Variacii geomagnitnogo polja i sejsmotektonicheskie processy. Prognoz zemletrjasenij, ocenka sejsmicheskoj opasnosti i sejsmicheskogo riska Central'noj Azii, // Sbornik докладov 7-go Kazahstansko-Kitajskogo Mezhdunarodnogo Simpoziuma, 2-4 ijunja 2010 g. Almaty: Jevero. P. 126-130.
- [8] Uzbekov N.B., Belosljudcev O.M. Vydelenie kratkosrochnyh anomalij v variacijah geomagnitnogo polja // Ural'skij geofizicheskij vestnik RAN UrO IG. 2005. N 8. Ekaterinburg, 2005. P. 63-67.
- [9] Uzbekov N.B., Belosljudcev O.M., Uzbekov A.N. Poisk lokal'nyh anomalij v geomagnitnom pole na osnove vejvlet-analiza i fraktal'noj razmernosti. Aktivnyje geologicheskie i geofizicheskie processy v litosfere. Metody, sredstva i rezul'taty izuchenija // Materialy XII mezhdunarodnoj konferencii (Nauchnye doklady i soobshhenija), 18-23 sent. 2006 goda. Rossija. Voronezh: 2006. Vol. II [N-Ja]. P. 207-212.
- [10] Mazhkenov S.A., Belosljudcev O.M., Kurskeeva G.A., Jejdlina I.M. Vosstanovlenie variacij magnitnogo polja v rezhimnyh nabljudenijah, poluchennyh na stancijah Alma-Atinskogo prognosticheskogo poligona // Izv. AN RK. 1992. N 2. P. 67-71.

О. М. Белослодцев, Н. Б. Узбеков, Л. Т. Бахарева, Е. М. Мусаев

Сейсмология институты, Алматы, Қазақстан

**ЭЛЕКТРМАГНИТ ӨРІСІНІҢ ТӨМЕН ЖИЛІКТІ
ВАРИАЦИЯЛАРЫН ТАЛДАУ**

Аннотация. Мақалада 1993–2015 жылдар аралығындағы Алматы болжау полигонында дискреттілігі 1 минуттық режимдік геомагниттік бақылаулардың уақыттық қатарларын талдау нәтижелері көрсетілген. Төмен жиілікті геомагниттік вариациялардың морфологиялық ерекшеліктері мен кеңістікті-уақыттық сипаттамалары зерттелген. Өзара спектрлердің функцияларын, өзара корреляциялық функцияларын, магнит өрісінің тербелмелі процесінің энергиясын көрсететін «график ұзындығының» өзгерістерін есептеулер магнитвариациялық станцияларға тікелей жақын маңда болған жер сілкіністерінің аралығы бірінші тәуліктерден бір айдан аз уақытқа дейінгі қысқа мерзімді аномалияларын айқындауға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: Алматы болжау полигоны, төмен жиілікті геомагниттік вариациялар, геомагниттік өрістің модулі, магнитвариациялық станциялар, өзара спектрлер, өзара корреляциялық функция, бағдарламалық құралдар, сейсмикалық оқиғалар, аномалиялар, жер сілкіністерінің нышандары.