

УДК 550.372 + 550.386

**КОРРЕЛЯЦИЯ ИНДЕКСОВ ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ
И ВАРИАЦИЙ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ПАРАМЕТРОВ**

Е.А. Баталева, Е.В. Воронцова, В.Ю. Баталев

Представлены результаты анализа данных магнитотеллурического мониторинга и индексов геомагнитной активности для территории Бишкекского геодинамического полигона.

Ключевые слова: естественное электромагнитное поле; магнитотеллурический мониторинг; геомагнитная активность; геомагнитные индексы; псевдоразрезы.

**CORRELATION OF THE INDICES OF GEOMAGNETIC ACTIVITY
AND VARIATIONS OF FREQUENCY-TIME SERIES OF PARAMETERS**

E.A. Bataleva, E.V. Vorontsova, V.Yu. Batalev

The results of the analysis of the data of magnetotelluric monitoring and indices of geomagnetic activity for the territory of the Bishkek geodynamic test site are presented.

Keywords: natural electromagnetic field; magnetotelluric monitoring; geomagnetic activity; geomagnetic indices; pseudosections.

Мониторинговые исследования пространственно-временного распределения деформационных процессов в земной коре, проявляющихся в вариациях различных геофизических параметров геологической среды, осуществляются Научной станцией РАН на территории Бишкекского геодинамического полигона (БГП) более 30 лет. Результаты этих работ достаточно подробно отражены в обобщающей публикации под редакцией В.И. Макарова [1] и в ряде других работ [2–7]. К настоящему времени наличие взаимосвязи между изменениями кажущегося электрического сопротивления и геодинамическими процессами, происходящими в земной коре, в том числе и с сейсмическими событиями, можно считать установленной, что подтверждено многочисленными работами, например, монографией [8]. Это обстоятельство послужило толчком к развитию магнитотеллурического мониторинга БГП [9–11].

Магнитотеллурическое зондирование (МТЗ) является одним из методов индукционных зондирований, использующий в качестве источника естественное электромагнитное поле Земли. Под магнитотеллурическим полем (МТ-полем) принято понимать переменную составляющую естественного электромагнитного поля, происхождение которого связывается с процессами, происходящими

в ионосфере. Из-за воздействия солнечного ветра с магнитосферой Земли возникает переменное магнитное поле, переменность которого обязана своим происхождением токовым системам, развивающимся на различных высотах от нижних слоев ионосферы до магнитопаузы, в свою очередь это поле индуцирует в Земле переменное электрическое поле, а поскольку горные породы обладают удельным электрическим сопротивлением, то в Земле возбуждаются электрические токи, которые принято называть теллурическими. Магнитное поле Земли описывается вектором магнитной индукции \mathbf{B} , который характеризует как скорость и величину зарядов электрических токов, создающих геомагнитное поле, так и магнитные свойства среды, в которой оно существует. В том случае, когда магнитные свойства среды не учитываются, используется вектор напряженности магнитного поля \mathbf{H} .

Изменения магнитного поля Земли во времени, вызванные различными причинами, называются геомагнитными вариациями, которые различаются как по своей длительности, так и по интенсивности. Именно эти вариации являются полезным сигналом для МТЗ, сущность которого заключается в одновременной регистрации компонент магнитотеллурического поля E_x , E_y , H_x , H_y

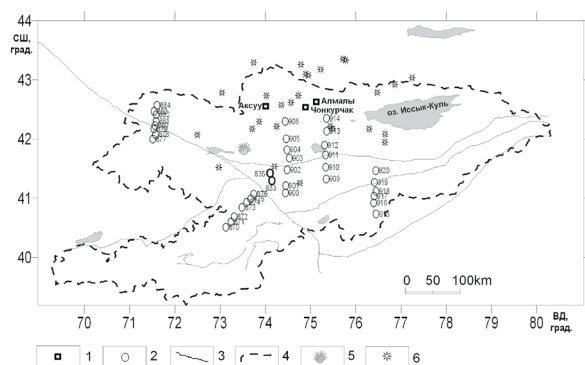


Рисунок 1 – Схема расположения стационарных пунктов МТ-мониторинга и ГМТЗ, выполненных на территории Центрального Тянь-Шаня в 2011 г.: 1 – пункты стационарных наблюдений МТ-мониторинга, 2 – пункты ГМТЗ (режимные для МТ-мониторинга), 3 – региональные разломы, 4 – граница Киргизстана, 5 – Камбаратинский взрыв, 6 – сейсмические события, произошедшие за время регистрации ГМТЗ

и Hz на поверхности земли и последующем спектральном анализе результатов измерений.

При мониторинговых геофизических исследованиях, в том числе и с целью поиска предвестников землетрясений, часто регистрируется anomalous поведение геофизических полей, которое объективно трудно идентифицировать как “предвестниковое”. Скорее всего, это связано со свойством суперпозиции полей, когда мы имеем дело с аномалиями как экзогенного (внешнего), так и эндогенного (внутреннего или тектонического) происхождения. Поэтому для более эффективного анализа и выявления “предвестниковых” аномалий электромагнитных параметров, необходимо определить характер взаимосвязи изменений этих параметров с внешними источниками с целью разделения аномалий относительно характера их связи с геодинамическими процессами. Одним из направлений такого анализа являются работы по определению тензочувствительности пунктов мониторинга, в основе которых лежит установление степени корреляции между гравитационными приливными воздействиями и вариациями электромагнитных параметров [12–14].

Для выявления некоторых общих закономерностей, отражающихся в частотно-временных рядах (ЧВР) кажущегося электрического сопротивления и других электромагнитных параметров, обусловленных влиянием геомагнитной активности, на всех пунктах магнитотеллурического мониторинга (стационарных, режимных и профильных) (рисунок 1) был проведен корреляционный анализ вариаций ρ_k , вектора Визе и фазы импеданса с ин-

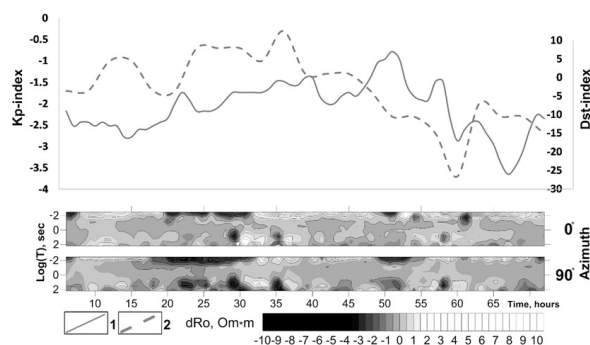


Рисунок 2 – Сопоставление трехсуточных частотно-временных рядов вариаций кажущегося сопротивления ρ_k по азимутам 0° и 90° для пункта МТЗ 909 (нижняя панель) с индексами геомагнитной активности: 1 – Dst, 2 – Kp (верхняя панель)

дексами геомагнитной активности. Под геомагнитной активностью принято понимать возмущения геомагнитного поля, возникающие при взаимодействии магнитосферы с солнечным ветром. Суточные вариации магнитного поля подразделяются на регулярные и иррегулярные. Первые возникают вследствие изменения освещенности ионосферы Солнцем в течение суток и соответствующего изменения токов в ионосфере Земли. Вторые проявляются как результат воздействия потока солнечного ветра на магнитосферу Земли и взаимодействия магнитосферы и ионосферы.

Количественной мерой геомагнитной активности являются индексы геомагнитной активности, в настоящее время насчитывается более двадцати их разновидностей. Индексы геомагнитной активности предназначены для анализа вариаций магнитного поля Земли, вызванных этими нерегулярными причинами и условно подразделяются на три группы: 1) индексы локальной геомагнитной активности (нами они не будут рассматриваться); 2) индексы планетарной геомагнитной активности (рассмотрим только Kp-индекс, показывающий величины магнитного и ионосферного возмущения); 3) индексы активности отдельных источников магнитного поля (основной показатель магнитной бури Dst вариация, которая представляется наиболее интересной).

K-индекс является наиболее широко распространенным и наглядным, он определяет меру магнитной возмущенности за трехчасовой интервал времени по 9-бальной квазилогарифмической шкале, которая индивидуальна для каждой обсерватории. Индекс Kp характеризует активность по сети

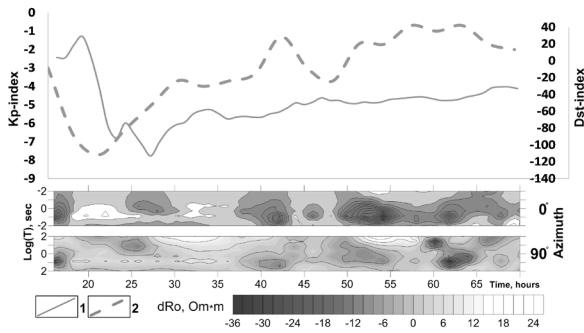


Рисунок 3 – Сопоставление трехсуточных частотно-временных рядов вариаций кажущегося сопротивления ρ_k по азимутам 0° и 90° для пункта МТЗ 920 (нижняя панель) с индексами геомагнитной активности: 1 – Dst; 2 – Kp (верхняя панель)

из 12 обсерваторий, расположенных в средних широтах, за каждый 3-х часовой интервал. Схема определения Kp простая – вычисленный K-индекс по отдельным обсерваториям усредняют, и среднее значение принимают в качестве индекса Kp [15, 16].

Для анализа данных МТ-мониторинга на предмет взаимосвязи геодинамических деформационных процессов и изменений электромагнитных параметров очень важно убедиться в отсутствии или наличии влияния неоднородностей источников электромагнитных волн на рассматриваемые ЧВР. Наиболее доступной информацией об иррегулярной составляющей являются данные по вариациям индексов геомагнитной активности (Dst и Kp), выложенные сети Интернет. На рисунке 2 приведено сопоставление частотно-временных рядов вариаций кажущегося сопротивления ρ_k по азимутам 0° и 90° для пунктов МТЗ 909 и 920 (рисунок 1) с Dst и Kp индексами геомагнитной активности (рисунки 2 и 3).

Значения коэффициентов корреляции ρ_k с Dst-индексами геомагнитной активности, представленные на корреляционных полярных диаграммах (рисунок 4), для пунктов 920 и 909 малы, что указывает на отсутствие сколько-нибудь значимого влияния особенностей геомагнитной активности на результаты МТ-мониторинга.

В то же время корреляционная зависимость вариаций электромагнитных параметров, таких как кажущееся сопротивление ρ_k или типпер W с гравитационными приливными воздействиями (Au), как следует из рисунка 5, проявляется гораздо сильнее и значения коэффициентов корреляции достигают 0.65–0.75.

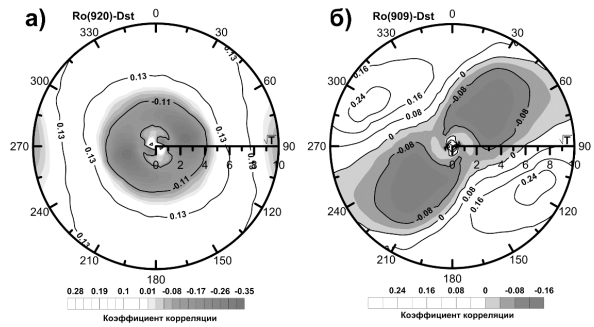


Рисунок 4 – Корреляционные полярные диаграммы взаимосвязи вариаций кажущегося сопротивления ρ_k для пунктов 920 и 909 с Dst индексами геомагнитной активности в интервале периодов 0.01–100 с по азимутам $0-360^\circ$. По оси радиусов откладывается корень из периода зондирования, значения коэффициентов корреляции указаны на изолиниях и оттенками серого

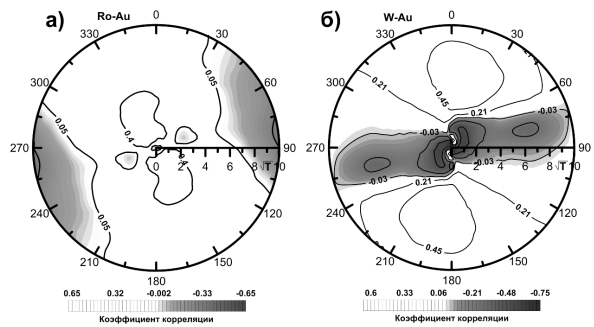


Рисунок 5 – Корреляционная полярная диаграмма связи вариаций кажущегося сопротивления ρ_k для пункта 920 с широтной компонентой гравитационных приливных воздействий (Au). Значения коэффициентов корреляции достигают 0.65 (а); корреляционная полярная диаграмма связи вариаций типпера W для пункта 920 с широтной компонентой гравитационных приливных воздействий (Au). Значения коэффициентов корреляции достигают 0.75 (б)

Длительность мониторинговых наблюдений на пунктах МТЗ 909 и 920 составляла около 3-х суток, т. е. 70–72 часа. Обработка данных МТ-наблюдений выполнялась по методике азимутального МТ-мониторинга [6, 7, 12] в диапазоне периодов зондирования от 0.01 с до 100 с и для азимутов от 0° до 360° , хотя далее приводятся только ЧВР по азимутам 0° и 90° . На рисунках 2 и 3 затруднительно визуально оценить корреляцию между геомагнитной активностью и ρ_k и, соответственно, степень влияния особенностей геомагнитной активности на результаты МТ-мониторинга. Для количественной оценки взаимосвязи

рассматриваемых процессов использовался разработанный в Научной станции подход с построением корреляционных полярных диаграмм [8, 14, 15].

Значения коэффициентов корреляции вариаций кажущегося сопротивления ρ_k с Dst-индексами геомагнитной активности, представленные на корреляционных полярных диаграммах (рисунок 4) для пунктов 920 и 909 малы, что указывает на отсутствие сколько-нибудь значимого влияния особенностей геомагнитной активности на результаты МТ-мониторинга.

Низкий уровень корреляционных связей между K_p и Dst-индексами геомагнитной активности и вариациями электромагнитных параметров в регионе, а также их классификация, позволит сформировать более точную базу данных признаков предвестников землетрясений [17-18].

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 17-05- 654а.

Литература

1. Современная геодинамика областей внутриконтинентального коллизииного горообразования / под ред. В.И. Макарова. М.: Научный мир, 2005. 400 с.
2. Баталев В.Ю. Строение земной коры восточной части Киргизского Тянь-Шаня по данным МТЗ и ГМТЗ / В.Ю. Баталев, А.М. Вольхин, А.К. Рыбин и др. // Проявление геодинамических процессов в геофизических полях М.: Наука, 1993. С. 96–113.
3. Брагин В.Д. О качественных связях современных движений с геоэлектрическим разрезом земной коры Центрального Тянь-Шаня и распределением сейсмичности / В.Д. Брагин, В.Ю. Баталев, А.В. Зубович, А.Н. Лобанченко, А.К. Рыбин, Ю.А. Трапезников, Г.Г. Щелочков // Геология и геофизика. 2001. Т. 42. № 10. С. 1610–1621.
4. Рыбин А.К. Площадные магнитотеллурические зондирования в сейсмоактивной зоне Северного Тянь-Шаня / А.К. Рыбин, В.В. Спичак, В.Ю. Баталев, Е.А. Баталева, В.Е. Матюков // Геология и геофизика. 2008. № 5. С. 445–460.
5. Рыбин А.К. Разработка распределенной интерактивной системы доступа к результатам магнитотеллурического мониторинга / А.К. Рыбин, В.Ю. Баталев, Е.А. Баталева, В.Е. Матюков, Г.А. Десятков, Н.М. Лыченко, С.Ц. Манжикова, В. Тен // В сб.: Современные проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов: материалы V межд. симп., г. Бишкек, 19–24 июня 2012 г. Москва–Бишкек. 2012. С. 179–187.
6. Рыбин А.К. Вариации электросопротивления земной коры по результатам магнитотеллурического мониторинга сейсмоактивных зон Тянь-Шаня / А.К. Рыбин, Е.А. Баталева, В.Ю. Баталев, В.Е. Матюков // Вестник КPCY. 2011. Том 11. № 4. С. 29–40.
7. Баталева Е.А. Развитие методики анализа данных магнитотеллурического мониторинга / Е.А. Баталева, В.Ю. Баталев // Матер. докл. VI межд. симп. “Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов” (Бишкек, 23–29 июня 2014 г.). Бишкек: НС РАН, 2015. С. 148–154.
8. Соболев Г.А. Физика землетрясений и предвестники / Г.А. Соболев, Пономарев А.В. М.: Наука. 2003. 270 с.
9. Баталева Е.А. К вопросу о взаимосвязи вариаций электропроводности земной коры и геодинамических процессов / Е.А. Баталева, В.Ю. Баталев, А.К. Рыбин // Физика Земли. 2013. № 3. С. 105–113.
10. Баталева Е.А. Вариации кажущегося сопротивления горных пород как индикатор напряженного состояния среды / Е.А. Баталева, А.К. Рыбин, В.Ю. Баталев // Геофизические исследования. 2014. Т. 15. № 4. С. 53–64.
11. Баталева Е.А. Вариации электромагнитных параметров среды и их связь с сейсмической активностью / Е.А. Баталева, В.Ю. Баталев // В сб.: Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: XI межд. сейсмолог. школа. Бишкек: НС РАН, 2016. С. 21–29.
12. Баталева Е.А. Магнитотеллурический мониторинг напряженно-деформированного состояния среды (для территории Центрального Тянь-Шаня) / Е.А. Баталева, В.Ю. Баталев // В кн.: Геолого-геофизическая среда, сейсмичность и сопутствующие процессы: матер. конф. Перюнгри: Технический ин-т (ф) СВТУ. 2015. С. 7–14.
13. Баталева Е.А. Корреляционные зависимости электромагнитных и деформационных параметров / Е.А. Баталева // Докл. АН. 2016. Т. 468. № 3. С. 319–322.
14. Баталева Е.А. Проявление разломных структур в электромагнитных параметрах (для территории Центрального Тянь-Шаня) / Е.А. Баталева, В.Ю. Баталев // Вестник КPCY. 2015. Том 15. № 9. С. 160–164.
15. Яновский Б.М. Земной магнетизм / под ред. В.В. Металлова. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1978. 592 с.
16. Заболотная Н.А. Индексы геомагнитной активности. Справочное пособие / Н.А. Заболотная. М.: Изд-во ЛКИ, 2007. 88 с.
17. Баталева Е.А. Разработка программ анализа данных азимутального магнитотеллурического мониторинга. Ч. 1. Анализ данных магнитотеллурического мониторинга / Е.А. Баталева, В.Ю. Баталев // Вестник КPCY. 2014. Том 14. № 7. С. 3–7.
18. Баталева Е.А. Разработка программ анализа данных азимутального магнитотеллурического мониторинга. Ч. 2. Разработка программного обеспечения для анализа данных МТ мониторинга / Е.А. Баталева, В.Ю. Баталев // Вестник КPCY. 2014. Том 14. № 7. С. 8–12.