МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СРЕДЫ (ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ)

Е.А. Баталева, В.Ю. Баталев

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научная станция Российской академии наук в г. Бишкеке, г. Бишкек, 720049, Кыргызская Республика, e-mail: bataleva@gdirc.ru

В работе представлены результаты магнитотеллурического мониторинга, проводимого Научной станцией РАН на территории Центрального Тянь - Шаня. Особое внимание уделялось проявлению разломных структур в распределении электромагнитных параметров. Обнаружены характерные изменения электромагнитных параметров, которые могут быть объяснены перераспределением флюидов между системами трещин. При анализе частотно-временных рядов данных МТ-мониторинга выявлена связь между изменениями ρ_k и местоположением (азимутальным углом) групп эпицентров землетрясений для рассматриваемых интервалов времени. На основе корреляционного анализа гравитационных приливных воздействий и результатов магнитотеллурического мониторинга выявлена азимутальная зависимость тензочувствительности среды.

Ключевые слова: естественное электромагнитное поле, магнитотеллурический мониторинг, землетрясение, тензор импеданса, зоны активных разломов.

MAGNETOTELLURIC MONITORING STRESSED AND DEFORMED STATE OF MEDIUM (FOR THE TERRITORY OF THE CENTRAL TIEN SHAN)

E.A. Bataleva, V.Yu. Batalev

The Federal State Budgetary Institution of Science - Research Station of the Russian Academy of Sciences in Bishkek city. Bishkek-49, 720049, Kyrgyz Republic, e-mail: bataleva@gdirc.ru

This paper presents the results of magnetotelluric monitoring carried out by the Research Station of the Russian Academy of Sciences in Bishkek for the territory of the central Tien Shan. The special attention was paid on appearance of fault structures in distribution of electromagnetic parameters. Distinctive changes of investigated electromagnetic parameters explained by redistribution of fluids through system of cracks are found. The analysis of time-and-frequency series of MT-monitoring data revealed regularities in apparent resistivity changes and location (azimuths) of earthquake focus for examine time intervals. On the basis of correlation analysis of tidal gravitational effects and results of magnetotelluric monitoring azimuthal dependence of the tensorsensitivity of the medium was revealed.

Key words: natural electromagnetic field, magnetotelluric monitoring, earthquake, impedance tensor.

Введение

Мониторинговые наблюдения с помощью метода магнитотеллурического зондирования выполняются на Бишкекском геодинамическом полигоне (БГП) с 2003 года, когда канадская компания «Феникс Геофизикс» совместно с Научной станцией РАН установила две станции Феникс MTU-5D на стационарных пунктах Аксу и Чон-Курчак [6-8]. Обе станции находятся на территории Бишкекского геодинамического полигона (БГП), который в свою очередь является частью Северо-Тяньшаньской сейсмогенерирующей зоны (Рис. 1.), регистрация данных осуществляется круглосуточно в интервале периодов 0,01-1000 с. В процессе осуществления непрерывных магнитотеллурических наблюдений не реже одного раза в 3 месяца контролируются такие характеристики измерительной системы как стабильность коэффициента передачи канала и форма амплитудно-фазовой частотной характеристики [6-8].

Рис. 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, 3 – региональные разломы, 4 – граница Киргизстана, 5 – Камбаратинский взрыв, 6 – сейсмические события, произошедшие за время регистрации ГМТЗ.

Для стационарных пунктов мониторинговой сети БГП были выполнены работы по изучению глубинного геоэлектрического строения полигона с помощью таких электроразведочных методов как вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ), частотное зондирование (ЧЗ), зондирование становлением поля (ЗС) и магнитотеллурическое зондирование (МТЗ) [9] с целью установления местоположения аномалиеобразующих объектов в геологической среде.

В исследованиях, связанных с развитием принципиально новой методики азимутального магнитотеллурического мониторинга, рассматривались временные ряды вариаций (отклонения от среднего) для электромагнитных параметров среды по азимутам $0^\circ - 180^\circ$ в зависимости от периода зондирования [1-4, 10]. Однако при более детальном анализе временных рядов магнитотеллурического мониторинга оказалось, что представление данных в

полярных диаграммах является не только более наглядным, но и может привести к принципиально другим выводам (Рис. 2).

Рис. 2. Фрагмент геологической карты вблизи расположения стационарного пункта МТ-мониторинга Ак-суу (панель слева) и распределение коэффициента корреляции (панель справа) в полярных координатах, где по оси радиусов показан $\sqrt{T}$

Z_{xx} – дополнительный импеданс; An – вертикальная компонента приливных воздействий; T – период. Цвет и изолинии показывают значения коэффициента корреляции.

Целью настоящего исследования является развитие методики азимутального магнитотеллурического мониторинга, которое заключается в анализе полученных временных рядов электромагнитных параметров на предмет определения вклада каждой из компонент тензора импеданса в информативность мониторинговых исследований.

Для выбора наиболее чувствительных зон к изменению напряженно-деформированного состояния среды в 2011 году был выполнен эксперимент, который включал в себя 34 пункта зондирования, заложенных в совершенно различных с точки зрения геологии и тектоники условиях (Рис. 1).

В результате этого эксперимента были получены оценки изменения кажущегося электрического сопротивления как отклика среды на изменение напряженно-деформированного состояния среды, обусловленное как приливными воздействиями, так и сейсмическими событиями, произошедшими во время проведения эксперимента [1, 4]. В результате проведенного корреляционного анализа было установлено, что характер взаимосвязи наилучшим образом отражается в распределении характеристик среды на корреляционных полярных диаграммах (Рис. 2, Рис. 3). В дальнейшем полученные временные ряды электромагнитных параметров были проанализированы на предмет определения вклада каждой из компонент тензора импеданса в информативность мониторинговых исследований.

Рис. 3. Фрагмент геологической карты вблизи расположения режимного пункта МТ- мониторинга № 916 (панель слева) и распределение коэффициента корреляции (панель справа) в полярных координатах, где по оси радиусов показан $\sqrt{T}$
 Z_{xx} – дополнительный импеданс; A_n – вертикальная компонента приливных воздействий; T – период. Цвет и изолинии показывают значения коэффициента корреляции.

Оказалось, что характер взаимосвязи наилучшим образом отражается в распределении характеристик среды на корреляционных полярных диаграммах (Рис. 2, Рис. 3). Наибольший интерес вызвал тот факт, что ориентация основных тектонических нарушений, закартированных вблизи пункта зондирования, находит отражение в распределении кластеров дополнительных импедансов на корреляционных полярных диаграммах. В общей сложности было проанализировано более 10 пунктов зондирования, которые расположены в непосредственной близости от зон тектонических нарушений и все разломные структуры проявились в распределении электромагнитных параметров на полярных диаграммах.

Была обнаружена устойчивая зависимость между распределением магнитовариационных параметров и простираем разломных структур, иллюстрацией чего служит рисунок 4

Рис. 4. Фрагмент геологической карты вблизи расположения режимного пункта МТ- мониторинга Кентор (0) (панель слева) и распределение коэффициента корреляции (панель справа) в полярных координатах, где по оси радиусов показан $\sqrt{T}$

W – вектор Визе; An – вертикальная компонента приливных воздействий. Цвет и изолинии показывают значения коэффициента корреляции; T – период.

Следует отметить, что в геоэлектрических построениях наиболее четко зоны тектонических нарушений проявляются до глубин порядка 20-25 километров [5, 9] и особое внимание уделялось поведению электромагнитных параметров в пунктах магнитотеллурического мониторинга, приуроченных именно к активным разломным структурам. Отчасти это связано с тем, что существует предположение о тесной взаимосвязи процессов разломообразования и сейсмичности. При этом особый интерес вызывает вопрос о процессе возникновения сейсмических событий при активизации разломов и закономерностях миграции очагов землетрясений в них.

Для анализа взаимосвязи проявления сейсмических событий в изменениях кажущегося электрического сопротивления был выполнен корреляционный анализ таких параметров как вариации кажущегося сопротивления, фазы импеданса, дополнительных импедансов и магнитовариационных параметров (векторов Визе-Паркинсона). Была сформирована выборка землетрясений из каталога сети KNET (НС РАН) и каталога Института сейсмологии НАН КР, в которую входили сейсмические события с $K > 6$ и гипоцентральной расстоянием не более 100 км от пункта мониторинга за период с 2003-2014 гг. Для стационарного пункта МТ- мониторинга Ак-Суу установлено, что наибольший отклик в изменение кажущегося сопротивления вносят землетрясения, эпицентр которых расположен под азимутом в 57° (Рис. 5).

Оценка точности выполняемых процедур производилась с использованием контрольных зондирований двумя станциями Феникс MTU-5D в одном пункте наблюдения. Электрические диполи измерительных установок были установлены параллельно друг другу со смещением полтора метра, синхронизация зондирований осуществлялась по GPS-часам. Среднее квадратичное отклонение от среднего вариаций кажущегося сопротивления для азимутов - 0° - 180° составляло не более 1 Ом•м (0.5%) для периодов в интервале 0.1-2.5 с и до 4 Ом•м (2%) на периодах до 100 с [10].

Рис. 5. Частотно-временные ряды азимутального МТ-мониторинга кажущегося сопротивления по данным станции Ак-суу в сопоставлении с сейсмичностью за апрель, май, июнь 2008 г. на территории в радиусе от станции до 100 км – (кружки) и более 100 км (ромбы) Цифрами справа от кружков указаны азимуты от станции Ак-суу на эпицентры землетрясений.

Закключение

Таким образом, в результате анализа гравитационных приливных воздействий и магнитотеллурических параметров, установлено, что характер взаимосвязи зависит от геоэлектрической структуры пункта зондирования и отражается в распределении устойчивых кластеров на корреляционных полярных диаграммах. Сопоставление аномального поведения электромагнитных параметров с сейсмическим режимом БГП позволило выявить особенности аномальных изменений кажущегося электрического сопротивления и дополнительных импедансов, а также векторов Визе в зависимости от локализации гипоцентров близких землетрясений. Установлено, что ориентация основных тектонических нарушений (вблизи пункта зондирования) соответствует положению кластеров на корреляционных полярных диаграммах. Выполнена оценка информативности дополнительных

импедансов, на основании чего сделан вывод о необходимости использования данного параметра для оценки тензочувствительности пунктов наблюдения.

Представленные исследования осуществляются в рамках выполнения Государственного задания ФГБУН НС РАН в г. Бишкеке на 2015-2017 гг. (Тема 70.1).

Список литературы:

1. 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.
2. Баталева Е.А. Разработка программ анализа данных азимутального магнитотеллурического мониторинга Часть 1. Анализ данных магнитотеллурического мониторинга / Е.А. Баталева, В.Ю. Баталев // Вестник КРСУ. – 2014. Т.14, №7. – С. 3-7.
3. Баталева Е.А. Разработка программ анализа данных азимутального магнитотеллурического мониторинга Часть 2. Разработка программного обеспечения для анализа данных МТ мониторинга / Е.А. Баталева, В.Ю. Баталев // Вестник КРСУ. – 2014. Т.14, №7. – С. 8-12.
4. 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.
5. Баталева Е.А. Аномалии электропроводности зоны Таласо-Ферганского разлома и геодинамическая интерпретация глубинной структуры юго-западного Тянь-Шаня / Е.А. Баталева, М.М. Буслов, А.К. Рыбин, В.Ю. Баталев, И.В. Сафронов // Геология и геофизика. – 2006. – № 9. – С.1036-1042.
6. Рыбин А.К., Баталев В.Ю., Щелочков Г.Г., Баталева Е.А., Сафронов И.В. Глубинные электромагнитные исследования в Тянь-Шане – достигнутые возможности и перспективы для проведения мониторинговых магнитотеллурических наблюдений // в сборнике: Проблемы предотвращения последствий разрушительных землетрясений. - Алматы, Эверо, 2003. - С.284-291.
7. Рыбин А.К., Сафронов И.В., Щелочков Г.Г., Баталев В.Ю., Баталева Е.А., Фокс Л., Ингеро А. О магнитотеллурическом мониторинге на Бишкекском геодинамическом полигоне // В сборнике: материалы международной конференции «Проблемы сейсмологии III-тысячелетия», (Новосибирск, 15-19 сентября 2003 года) – Новосибирск, 2003. – С. 249-254. 14
8. Рыбин А.К. Электромагнитный мониторинг в Северо-Тянь-Шаньской сейсмогенной зоне / Рыбин А.К., Брагин В.Д., Баталева Е.А., Баталев В.Ю., Матюков В.Е. // В сборнике: Проблемы современной сейсмогеологии и геодинамики Центральной и Восточной Азии. – Иркутск, 2007. – С.125-130.

9. 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.
10. 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 КРСУ. – 2011. Том 11, № 4. – С. 29-40.