

УДК 550.372 (575.2)

**ДЕТАЛЬНЫЙ РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ  
МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА  
(БИШКЕКСКИЙ ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОЛИГОН)**

*Е.А. Баталева, В.Ю. Баталев*

Представлены результаты ретроспективного анализа данных магнитотеллурического мониторинга для территории Бишкекского геодинамического полигона в периоды наибольшей сейсмической активности.

*Ключевые слова:* магнитотеллурический мониторинг; вариации кажущегося сопротивления и фазы импеданса; сейсмическая активность; кластеры землетрясений.

---

**DETAILED RETROSPECTIVE ANALYSIS OF MAGNETOTELLURIC  
MONITORING DATA  
(BISHKEK GEODYNAMIC TEST)**

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

The results of a retrospective analysis of magnetotelluric monitoring data for the territory of the Bishkek geodynamic test site during the periods of the greatest seismic activity are presented.

*Keywords:* magnetotelluric monitoring; variations of apparent resistance and impedance phase; seismic activity; clusters of earthquakes.

Мониторинг геодинамических процессов литосферы, основанный на изучении вариаций параметров геофизических полей, является фундаментальной проблемой научных исследований Научной станции РАН. Наибольший интерес представляет изучение вариаций кажущегося сопротивления в сейсмически активном регионе на территории Бишкекского геодинамического полигона (БГП), где возникают изменения напряженно-деформированного состояния среды, связываемые с подготовкой и реализацией сейсмических событий. Детальный ретроспективный анализ данных МТ-мониторинга за 2007 г. (как года максимальной высокой сейсмической активности за период 2004–2015 гг. по данным сети KNET) и серии сейсмических событий, произошедших в непосредственной близости от стационарного пункта мониторинговых наблюдений Чон-Курчак в 2016 г. был выполнен с целью определения взаимосвязи изменчивости электромагнитных параметров и распределения сейсмичности (глубина гипоцентров землетрясений и их положение относительно пунктов мониторинга).

В настоящей работе продолжаются исследования, связанные с развитием методики азимуталь-

ного магнитотеллурического (МТ) мониторинга, которые заключаются в анализе полученных временных рядов электромагнитных параметров на предмет определения вклада каждой из компонент тензора импеданса в информативность мониторинговых исследований [1–4]. Для анализа данных МТ-мониторинга и профильных наблюдений для территории Бишкекского прогностического полигона разработано программное обеспечение [5–7].

С целью изучения взаимосвязи пространственно-временного распределения сейсмичности и вариаций электропроводности, отвечающих особенностям глубинного распределения сейсмичности, был проведен статистический анализ данных каталога KNET Научной станции РАН за 2004–2016 гг. (Северный Тянь-Шань). На рисунке 1 представлена карта-схема БГП с основными разломными структурами Северного Тянь-Шаня, на которую вынесены эпицентры сейсмических событий, произошедших в 2007 и 2016 гг., и стационарные пункты мониторинговых магнитотеллурических наблюдений. Для стационарных пунктов МТ-мониторинга (стационар Ак-Суу самый западный пункт электромагнитного мониторинга, стационар Чон-Курчак находится в центре кластера 3) проведен детальный

ретроспективный анализ данных за 2007 г., с целью определения взаимосвязи изменчивости электромагнитных параметров и распределения сейсмичности (глубина гипоцентров землетрясений и их положение относительно пунктов мониторинга, а также кластерность распределения).

Наиболее компактной формой представления частотно-временной структуры компонент передаточных операторов электромагнитного поля являются их псевдоразрезы – карты с временем наблюдения по горизонтали и параметром глубинности (логарифмом периода) по вертикали. Временной ряд “азимутального” МТ-мониторинга состоит из нескольких частотно-временных диаграмм (псевдоразрезов) по числу азимутов, на которые производится пересчет тензора импеданса. По вертикальной оси псевдоразрезов откладывается логарифм периода (Т) зондирования, характеризующий его глубинность. Шагом по горизонтальной оси псевдоразрезов (оси времени t) является единичный отрезок времени, в пределах которого производится обработка МТ-зондирования для расчета значений кажущегося сопротивления в рабочем интервале периодов Т. На частотно-временных диаграммах (псевдоразрезах) для текущего временного интервала (t) и для периода зондирования откладываются вариации электромагнитных параметров, т. е. разницы между средним и текущим значениями, например, кажущегося сопротивления по рассматриваемому азимуту.

Нами рассматривались частотно-временные ряды кажущегося сопротивления, фаз импеданса и типпера по 6-ти азимутальным направлениям для стационаров МТ-мониторинга Ак-Суу и Чон-Курчак (рисунки 2–5). Предварительный анализ данных показал, что существует определенная взаимосвязь между расположением роя сейсмических событий, величиной эффекта и местоположением стационаров электромагнитного мониторинга.

В частотно-временных рядах (ЧВР) МТ-мониторинга за II квартал 2007 г. и за первые 5 месяцев 2016 г. на стационарных пунктах Ак-Суу и Чон-Курчак также выделены аномалии электромагнитных параметров, соответствующих модели перераспределения флюида в порово-трещинном пространстве, т. е. синфазное уменьшение и увеличение значений параметра на ортогональных азимутах (рисунки 2, 3), что свидетельствует о связи изменения напряженно-деформированного состояния среды с перераспределением флюидов между системами трещин, которое и вызывает вариации активной и реактивной компоненты электрического сопротивления.

Особое внимание уделялось анализу взаимосвязи вариаций электромагнитных параметров с проявлением Чумышского кластера землетрясе-

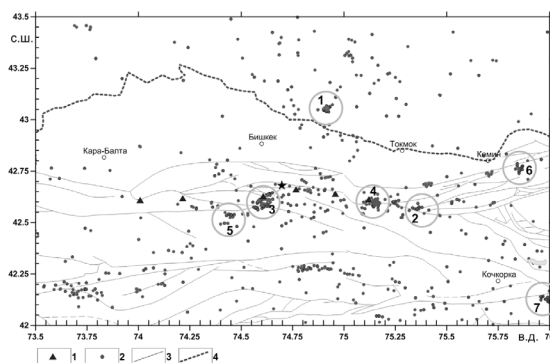


Рисунок 1 – Схема расположения пунктов электромагнитного мониторинга и кластеров сейсмических событий за 2007 и 2016 гг. по данным каталога KNET, составленного в НС РАН:

- 1 – пункты стационарных наблюдений электромагнитного мониторинга; 2 – эпицентры землетрясений за 2007 и 2016 гг.; 3 – разломные структуры; 4 – границы Киргизской Республики. Кругами обозначены кластеры землетрясений за 2007 и 2016 гг.: 1 – Чумыш; 2 – Шамси; 3 – Чон-Курчак; 4 – Кегеты; 5 – Ала-Арча; 6 – Кемин; 7 – Уюк

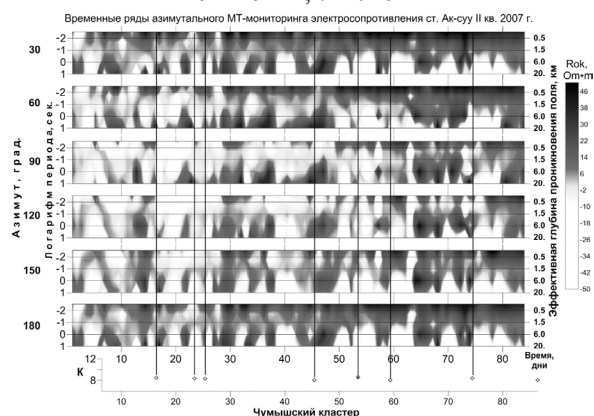


Рисунок 2 – Результаты МТ-мониторинга (ЧВР вариаций кажущегося сопротивления) по данным станций Ак-Суу в сопоставлении с сейсмичностью Чумышского кластера за апрель–июнь 2007 г.

(ромбики – сейсмические события)

ний (рисунок 1), приуроченной к узлу разломных структур. Эпицентры землетрясений этой группы приурочены к зоне самой крупной магнитной аномалии (Чуйской) – с максимальной интенсивностью до 800 нТл [8, 9].

Аналогично Чумышскому кластеру в псевдоразрезах проявляются сейсмические события Ала-Арчинского кластера, что подтверждает ранее высказанные предположения о наибольшей чувствительности электромагнитных параметров

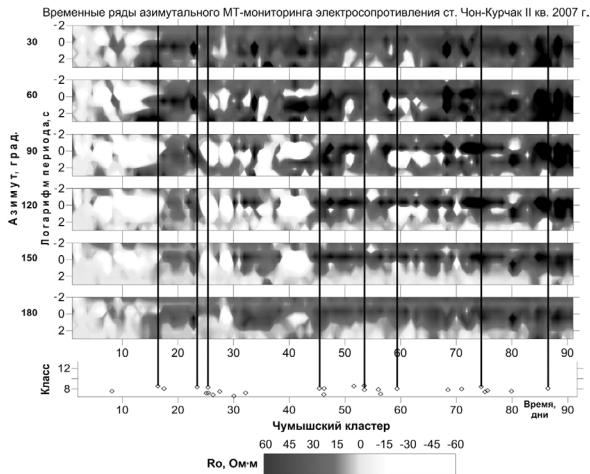


Рисунок 3 – Результаты МТ-мониторинга (ЧВР вариаций кажущегося сопротивления) по данным станции Чон-Курчак в сопоставлении с сейсмичностью Чумышского кластера за апрель–июнь 2007 г. (ромбики – сейсмические события)

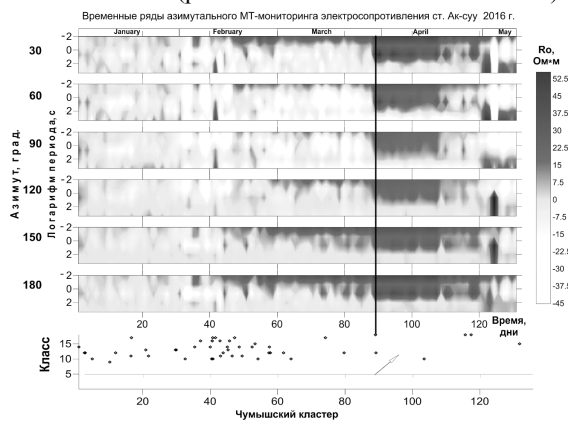


Рисунок 4 – Результаты МТ-мониторинга (ЧВР вариаций кажущегося сопротивления и фазы импеданса) по данным станции Ак-Суу в сопоставлении с сейсмичностью Чумышского кластера за январь–май 2016 г. (ромбики – сейсмические события)

к группам землетрясений, эпицентры которых расположены по азимутам 30–60° относительно пунктов мониторинга [4], при субширотном простираении региональных тектонических структур (назовем это направление диагональным).

Особый интерес представляют вариации электромагнитных параметров в определенных интервалах глубин (эффективных глубин проникновения поля) наиболее чувствительных к изменению электромагнитных параметров среды для стационарных и режимных пунктов наблюдений по отношению к различным кластерам сейсмических

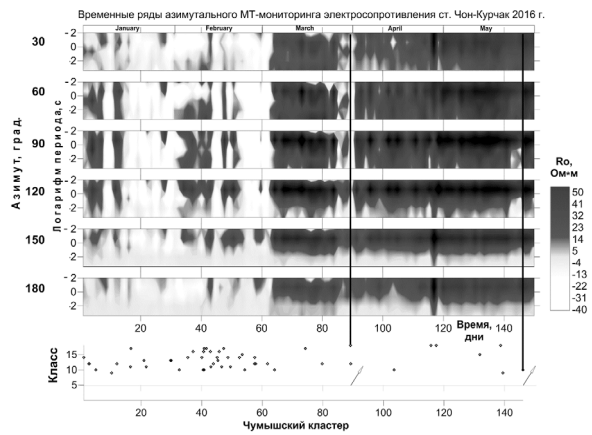


Рисунок 5 – Результаты МТ-мониторинга (ЧВР вариаций кажущегося сопротивления) по данным станции Чон-Курчак в сопоставлении с сейсмичностью Чумышского кластера за январь–май 2016 г. (ромбики – сейсмические события)

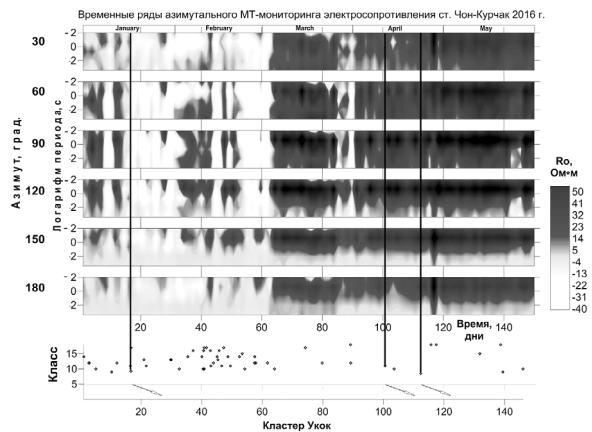


Рисунок 6 – Результаты МТ-мониторинга (ЧВР вариаций кажущегося сопротивления) по данным станции Чон-Курчак в сопоставлении с сейсмичностью Укокского кластера за январь–май 2016 г. (ромбики – сейсмические события)

событий. Нами установлено два таких диапазона – 1,5–5 км и более глубокий – 12–15 км, именно к этим интервалам глубин приурочены синфазные изменения электромагнитных параметров на ортогональных азимутах и наиболее ярко проявляется взаимосвязь изменений электромагнитных параметров с сейсмическими событиями. Рисунки 6 и 7 показывают, что синфазные изменения кажущегося сопротивления и фазы импеданса происходят в разных частотных диапазонах – вариации сопротивления приурочены к верхней части разреза, фазы – нижней.

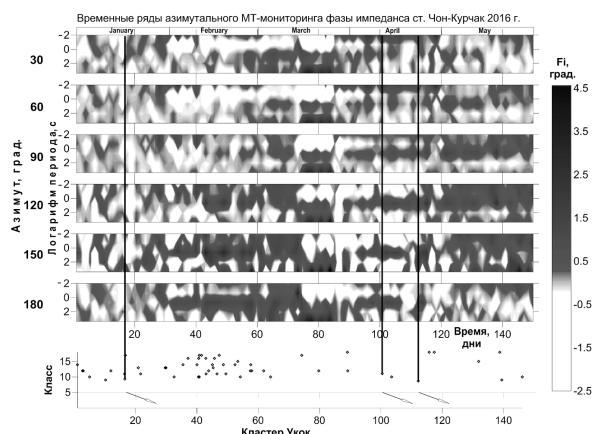


Рисунок 7 – Результаты МТ-мониторинга (ЧВР вариаций фазы импеданса) по данным станции Чон-Курчак в сопоставлении с сейсмичностью Укокского кластера за январь–май 2016 г. (ромбики – сейсмические события)

По мониторинговым данным магнитотеллурических наблюдений и сейсмического режима региона рассмотрен характер взаимосвязи вариаций кажущегося сопротивления распределения сейсмических событий во времени и в пространстве [9–11]. По полученным результатам дана оценка наибольшего влияния азимутов месторасположения кластеров сейсмических событий на изменение электромагнитных параметров геоэлектрического разреза. Механизм формирования вариаций кажущегося сопротивления объясняется изменением напряженно-деформированного состояния и степени тензочувствительности геологической среды.

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

#### Литература

1. 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.
2. Баталева Е.А. Связь вариаций электропроводности с напряженно-деформационным состоянием среды по данным магнитотеллурического мониторинга / Е.А. Баталева, В.Ю. Баталев, А.К. Рыбин // Матер. V межд. симп. “Современные проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов”, г. Бишкек, 19–24 июня 2012 г. Москва–Бишкек, 2012. С. 10–16.
3. 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.

4. 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.
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 // Матер. V межд. симп. “Современные проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов”, г. Бишкек, 19–24 июня 2012. Москва–Бишкек, 2012. С. 179–187.
6. 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. Том 14. № 7. С. 3–7.
7. 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.
8. Погребной В.Н. Особенности геофизических полей в зоне сочленения Чуйской впадины и ее горного обрамления / В.Н. Погребной, В.В. Гребенникова // Матер. V межд. симп. “Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов”, Бишкек, 23–29 июня 2014 г. Москва–Бишкек, 2014. С. 95–100.
9. Баталева Е.А. Особенности поведения вариаций электромагнитных параметров в периоды наибольшей сейсмической активности на территории Бишкекского геодинамического полигона / Е.А. Баталева, В.Ю. Баталев // Тез. докл. VI межд. симп. “Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов” (19–24 июня 2017 г., г. Бишкек). Бишкек: НС РАН, 2017. С. 390–394.
10. Баталева Е.А. Исследование анизотропии электропроводности и напряженно-деформированного состояния сейсмически активных регионов (на основе результатов магнитотеллурического мониторинга) / Е.А. Баталева, В.Ю. Баталев // Тез. докл. VI межд. симп. “Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов” (г. Бишкек, 19–24 июня 2017 г.). Бишкек: НС РАН, 2017. С. 386–389.
11. Баталева Е.А. К вопросу о зонах динамического влияния разломных структур / Е.А. Баталева, В.Ю. Баталев // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле: Матер. IV тектонофизической конф., г. Москва, 3–8 октября 2016 г. М.: ИФЗ РАН, 2016. С. 350–354.