

УДК 550.372 + 550.837

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОФИЛЬНОГО МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА МИНИПОЛИГОНА КЕНТОР

Е.А. Баталева, О.Б. Забинякова, В.Ю. Баталев

Разработано программное обеспечение для анализа и визуализации результатов профильного азимутального магнитотеллурического мониторинга, проводимого на территории миниполигона Кентор.

Ключевые слова: профильный магнитотеллурический мониторинг; тензор импеданса; фазовый тензор; векторы Визе.

SOFTWARE DEVELOPMENT FOR MAGNETOTELLURIC PROFILE MONITORING CANTOR'S MINIPOLYGON

E.A. Bataleva, O.B. Zabinyakova, V.Yu. Batalev

The software is developed for the analysis and visualization of results of the profile azimuthal magnetotelluric monitoring which is carried out in the territory of a minipolygon Cantor.

Keywords: magnetotelluric profile monitoring; impedance tensor; phase tensor; vector Wiese.

Геофизический мониторинг земной коры представляет собой систему целенаправленных регулярных наблюдений за геологическими объектами, основная задача которого заключается в получении объективной информации о состоянии тех или иных геологических объектов в конкретный момент времени и о динамике их параметров. Требования, предъявляемые к системе геофизического мониторинга, осуществляемого Научной станцией РАН и предназначенного для слежения за геодинамическими процессами и связанными с ними изменениями физических свойств земной коры, определяются условиями сбора и обработки информации в оперативном режиме, а также необходимостью незамедлительной реакции на аномальное поведение наблюдаемого параметра. Однако результаты интерпретации магнитотеллурических данных, полученных в сейсмоактивных регионах Центрального Тянь-Шаня, свидетельствуют о чрезвычайной сложности геоэлектрических моделей, построенных для зон тектонических деформаций, что в первую очередь связано с наличием разломов различных порядков. Вместе с тем, именно изучение структуры и поведения активных разломных зон [1–5] является одним из ключевых моментов при проведении мониторинговых работ, поскольку существует предположение о тесной взаимосвязи

процессов разломообразования и сейсмичности. Впервые гипотеза о приуроченности землетрясений к разломам земной коры была высказана Г. Рейдом в рамках рассмотрения модели упругой отдачи как одного из возможных механизмов возникновения землетрясений [6]. В настоящее время положение о взаимосвязи развития разломных зон, деформаций земной коры и сейсмичности широко известно и находит подтверждение как в работах по физическому моделированию, например [7], так и в исследованиях, направленных на проведение геофизического мониторинга в сейсмически активных регионах [8–10]. Особого внимания заслуживают зоны динамического влияния разломов [11], которые в геоэлектрических моделях проявляются как области повышенной электропроводности и являются индикаторами деформационных процессов.

В настоящей работе продолжают исследования, связанные с развитием методики азимутального магнитотеллурического мониторинга [12–16], которые заключаются в анализе полученных временных рядов электромагнитных параметров на предмет определения вклада каждой из компонент тензора импеданса в информативность мониторинговых исследований, а также азимутальной зависимости тензочувствительности среды [17–19].

Именно с целью изучения изменений во времени электромагнитных параметров активной разломной структуры, как наиболее тензочувствительной области геологической среды, и осуществляется профильный магнитотеллурический мониторинг на миниполигоне Кентор.

При этом предполагается, что обработка полученной информации должна быть завершена к моменту следующего опроса информационных каналов магнитотеллурических станций. Поэтому кроме требований к точности и надежности регистрации геофизических полей, необходимо разработать такое программное обеспечение магнитотеллурического мониторинга, которое позволит обеспечить повышение эффективности системы мониторинга и прогнозирования в целом. Разработка программного обеспечения, представленная в настоящей статье, в первую очередь предназначена для визуализации результатов профильного магнитотеллурического мониторинга и повышения его эффективности.

Для анализа данных профильного магнитотеллурического мониторинга (МТ-мониторинга) было разработано сервисное программное обеспечение. Написание программного кода осуществлялось в интегрированной среде Microsoft Visual Studio 2010 на объектно-ориентированном языке программирования C#, используемая версия программной платформы – .NET Framework 4.

При проектировании интерфейса программы использовали стандартные элементы управления Microsoft Visual Studio 2010, которые позволили разработать графический интерфейс: программа работает в интерактивном режиме, то есть пользователь вручную (через диалоговые окна) может выбирать файлы с исходными данными, необходимыми для дальнейшей работы, просматривать содержимое выбранных файлов, выполнять и отслеживать некоторые дополнительные расчеты с использованием исходных данных.

Так как при исследовании магнитотеллурических данных принято анализировать зависимость от периода (частоты) магнитотеллурических функций, то в программе осуществляется расчет значений этих функций и их графиков в зависимости от параметра T – периода. Для функций, определяемых в пространстве комплексных величин, построение графиков зависимости от T выполняли покомпонентно: отдельно для действительной части Re , отдельно для мнимой части Im .

При выполнении расчетов значений компонент тензора импеданса и для построения их азимутальных кривых (α – азимут) использовали формулы [20]:

$$Z_{xx}^{\alpha}(T) = Z_{xx} \cos^2 \alpha + Z_{yy} \sin^2 \alpha + (Z_{xy} + Z_{yx}) \sin \alpha \cos \alpha, \quad (1)$$

$$Z_{yy}^{\alpha}(T) = Z_{yy} \cos^2 \alpha - Z_{xx} \sin^2 \alpha - (Z_{xx} - Z_{yy}) \sin \alpha \cos \alpha, \quad (2)$$

$$Z_{yx}^{\alpha}(T) = Z_{yx} \cos^2 \alpha - Z_{xy} \sin^2 \alpha - (Z_{xx} - Z_{yy}) \sin \alpha \cos \alpha, \quad (3)$$

$$Z_{xy}^{\alpha}(T) = Z_{xy} \cos^2 \alpha + Z_{xx} \sin^2 \alpha - (Z_{xy} + Z_{yx}) \sin \alpha \cos \alpha. \quad (4)$$

Формула (5) используется для построения кривых кажущегося сопротивления:

$$\rho_m(T) = \frac{T |Z_m(T)|^2}{2\pi\mu_0}, \quad m = xx, xy, yx, yy, \quad (5)$$

а формула (6) – для построения соответствующих азимутальных кривых:

$$\rho_m^{\alpha}(T) = \frac{T |Z_m^{\alpha}(T)|^2}{2\pi\mu_0}, \quad m = xx, xy, yx, yy. \quad (6)$$

Графики фаз различных компонент тензора импеданса, а также азимутальные кривые фаз строили по значениям фаз соответствующих комплексных компонент тензора импеданса:

$$\varphi_m(T) = \text{Arg}(Z_m(T)), \quad (7)$$

$$\varphi_m^{\alpha}(T) = \text{Arg}(Z_m^{\alpha}(T)). \quad (8)$$

Расчет и построение графика средних значений по всем сессиям для различных магнитотеллурических (МТ) параметров осуществляли по формуле:

$$F_{avg}(T) = \frac{\sum_{i=1}^n F_i(T)}{n}, \quad (9)$$

где F_{avg} – искомая функция средних значений; F_i – соответствующая функция по данным i -ой сессии; $i = \overline{1, n}$, n – количество сессий.

Расчет значений для построения графика функции вариации (отклонения от соответствующих средних значений) различных МТ-параметров выполняли по формуле:

$$F_{var}(T)|_i = F_i(T) - F_{avg}(T), \quad (10)$$

где $F_{var}|_i$ – искомая функция вариации; F_i – соответствующая функция по данным i -ой сессии, $i = \overline{1, n}$; n – количество сессий; F_{avg} – функция средних значений.

Значения азимутальных средних вычисляются по формуле:

$$F_{avg}^{\alpha}(T) = \frac{\sum_{i=1}^n F_i^{\alpha}(T)}{n}, \quad (11)$$

где α – азимут, F_{avg}^{α} – искомая функция азимутальных средних значений, F_i^{α} – азимутальная кривая соответствующего МТ-параметра по данным i -ой сессии, $i = \overline{1, n}$, n – количество сессий.

Расчет значений, по которым для каждого фиксированного азимута выполняется построение азимутальных кривых вариаций различных МТ-параметров, осуществляли по формуле:

$$F_{var}^{\alpha}(T)|_i = F_i^{\alpha}(T) - F_{avg}^{\alpha}(T), \quad (12)$$

где $F_{var}^{\alpha}(T)|_i$ – искомая функция вариации азимутальных кривых, F_i^{α} – азимутальная кривая

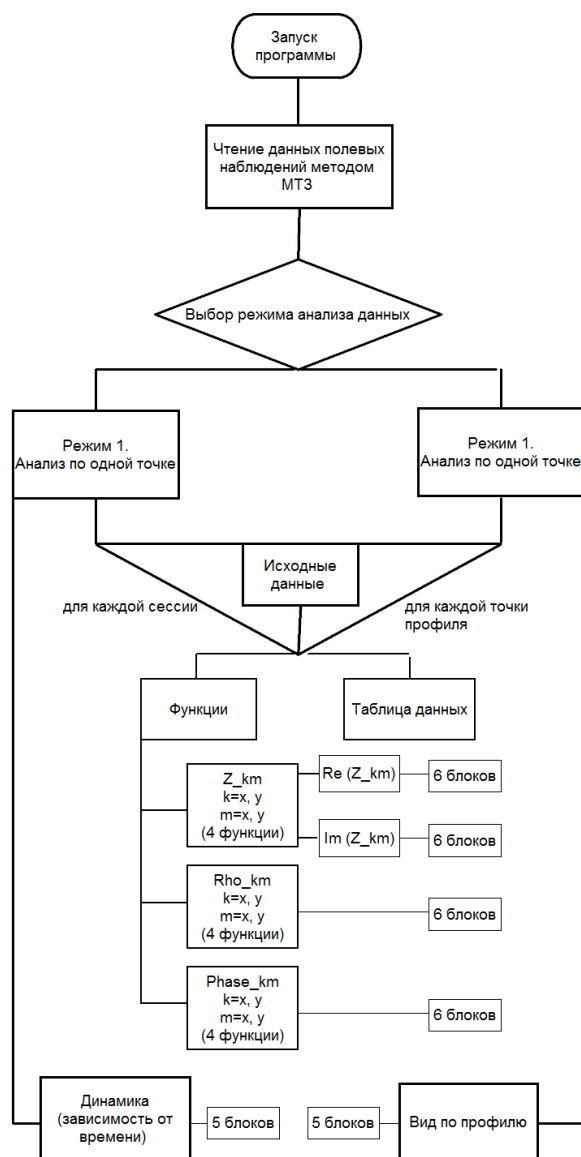


Рисунок 1 – Блок-схема программы для анализа и визуализации результатов профильного азимутального магнитотеллурического мониторинга

соответствующего МТ-параметра по данным i -ой сессии, $i = \overline{1, n}$; n – количество сессий; F_{avg}^α – функция азимутальных средних значений.

На рисунке 1 представлена блок-схема разработанной программы на примере магнитотеллурических данных по профилю “Центральный” мини-полигона Кентор (центральная часть Бишкекского геодинамического полигона).

В ближайшей перспективе для территории Центрального Тянь-Шаня ставится задача определения критериев современной активизации разломов, следствием которой является сейсмичность. При этом комплекс геофизических методов, используемый для оценки тектонической активности и сейсмической опасности территорий Бишкекского геодинамического полигона и мини-полигона Кентор, планируется усилить, с одной стороны, за счет вовлечения в анализ информации о движениях земной коры, полученных как на основе GPS-измерений, так и в результате светодальномерных наблюдений, а с другой – данных профильного магнитотеллурического мониторинга, осуществляемого на территории миниполигона Кентор. Следовательно, дальнейшее развитие программного обеспечения будет направлено на оптимизацию и развитие комплексного геофизического мониторинга.

Исследования осуществляются в рамках выполнения Государственного задания ФГБУН ИС РАН в г. Бишкеке на 2016–2018 гг. (Тема 128.1).

Литература

1. Баталева Е.А. Глубинная структура крупнейших разломных зон западной части Киргизского Тянь-Шаня и современная геодинамика: дис. ... канд. геол.-мин. наук / Е.А. Баталева. Новосибирск, 2005. 200 с.
2. 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.
3. Новиков И.С. Система новейших разрывных нарушений Юго-Восточного Алтая: данные об их морфологии и кинематике / И.С. Новиков, А.А. Еманов, Е.В. Лескова, В.Ю. Баталев, А.К. Рыбин, Е.А. Баталева // Геология и геофизика. 2008. Т. 49. № 11. С. 1139–1149.
4. Баталева Е.А. Особенности методики интерпретации магнитотеллурических данных в зоне Таласо-Ферганского разлома / Е.А. Баталева, В.Ю. Баталев // Вестник КРСУ. 2011. Т. 11. № 4. С. 40–46.
5. Баталева Е.А. Результаты магнитотеллурических зондирований в западной части Таласо-Ферганского разлома / Е.А. Баталева, В.Ю. Баталев, В.Е. Магоков, А.К. Рыбин // Вестник КРСУ. 2013. Том 13. № 1. С. 53–57.
6. Reid H.F. The California earthquake of April 18, 1906: The mechanics of the earthquake /

- H.F. Reid // Carnegie Institute of Washington Publication. Washington. 1910. 87 (V.2). 192 p.
7. *Seminskii K.Zh.* Governing factors in the development of depressions and faults in the Baikal rift zone: results of a physical experiment / K.Zh. Seminskii, E.I. Kogut // *Doklady Earth Sciences*. 2009. V. 424. № 1. P. 15–18.
 8. *Мороз Ю.Ф.* Методика и результат мониторинга естественного электрического поля Земли в Байкальской рифтовой зоне / Ю.Ф. Мороз, Т.А. Мороз, Т. Моги // *Физика Земли*. 2007. № 11. С. 37–49.
 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. Т. 49. № 5. С. 445–460.
 10. *Баталева Е.А.* Проявление разломных структур в электромагнитных параметрах (для территории Центрального Тянь-Шаня) / Е.А. Баталева, В.Ю. Баталев // *Вестник КРСУ*. 2015. Т. 15. № 9. С. 160–164.
 11. *Шерман С.И.* Области динамического влияния разломов / С.И. Шерман, С.А. Борняков, В.Ю. Буддо. Новосибирск: Наука, 1983. 112 с.
 12. *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.
 13. *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.
 14. *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.
 15. *Баталева Е.А.* Разработка программ анализа данных азимутального магнитотеллурического мониторинга Ч. 2. Разработка программно-обеспечения для анализа данных МТ мониторинга / Е.А. Баталева, В.Ю. Баталев // *Вестник КРСУ*. 2014. Т. 14. № 7. С. 8–12.
 16. *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.
 17. *Баталева Е.А.* Корреляционные зависимости электромагнитных и деформационных параметров / Е.А. Баталева // *Докл. АН*. 2016. Т. 468. № 3. С. 319–322.
 18. *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. Нерюнгри: Изд. Технич. ин-та (ф) СВТУ*. 2015. С. 7–14.
 19. *Баталева Е.А.* Вариации электромагнитных параметров среды и их связь с сейсмической активностью / Е.А. Баталева, В.Ю. Баталев // *Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: мат. докл. XI межд. сейсмолог. школы*. Бишкек: НС РАН, 2016. С. 21–29.
 20. *Бердичевский М.Н.* Модели и методы магнитотеллурики / М.Н. Бердичевский, В.И. Дмитриев. М.: Научный мир, 2009. 680 с.