УДК 550.8.07

Научная статья

Опыт работы с магнитотеллурическим комплексом MTU-5 для изучения глубинного строения районов Шанучского и Агинского месторождений на Камчатке

В. А. Джигимон¹, И. С. Улыбышев²

¹ Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга, 683032, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Пограничная, 4

² Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, 683006, г. Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийпа, 9

E-mail: victoria.died@gmail.com

Данная статья описывает методологию проведения полевых исследований, процесс обработки магнитотеллурических данных и особенности работы с аппаратным комплексом MTU-5.

Ключевые слова: МТЗ, метод магнитотеллурического зондирования, MTU-5, Шануч, Агинское, Камчатка

DOI: 10.26117/2079-6641-2021-35-2-91-99

Поступила в редакцию: 09.02.2021

В окончательном варианте: 09.03.2021

Для цитирования. Джигимон В. А., Улыбышев И. С. Опыт работы с магнитотеллурическим комплексом MTU-5 для изучения глубинного строения районов Шанучского и Агинского месторождений на Камчатке // *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки.* 2021. Т. 35. № 2. С. 91-99. DOI: 10.26117/2079-6641-2021-35-2-91-99

Контент публикуется на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru>)

© Джигимон В. А., Улыбышев И. С., 2021

Введение

Метод магнитотеллурического зондирования основывается на измерении естественных вариаций электромагнитных полей высокой частотности. Одним из главных преимуществ метода магнитотеллурического зондирования является высокая глубинность исследований (около 100 километров), а так же низкая стоимость и ресурсозатратность (относительно других методов повышенной глубинности). Для получения данных был использован аппаратный комплекс MTU-5 канадской компании «Phoenix-geophysics» Ltd. Данное оборудование было выбрано по причине широкого списка преимуществ, таких как: компактность аппаратуры, наличие программного обеспечения от производителя, мобильность и простота в установке стационарного комплекса.

Исследования проводились в районе Шанучского медно-никелевого и Агинского золоторудного месторождений. Месторождения расположены около северной границы Срединного Камчатского массива и располагаются в различных геологических и тектонических условиях (рис. 1).

Финансирование. Исследование выполнялось без финансовой поддержки фондов.

Рис. 1. Профиль исследований

Краткая геологическая характеристика района работ

Срединный Камчатский массив находится в южной части Срединного хребта, располагаясь между реками Большой и Ичей. В структурном отношении Срединный Камчатский массив представляет собой поднятую глыбу сильно дислоцированных метаморфических пород. Породы ограничены разломами, которые особенно хорошо проявляются с восточной стороны массива, и покрыты более молодыми образованиями. Геологический состав Срединного камчатского массива представлен эффузивными породами, кристаллическим сланцем, гнейсами. Также в геологический состав входит довольно большое число молодых интрузивов. Их присутствие обусловлено переработкой местных пород тектоническими движениями. Срединный вулканический пояс тянется по водоразделу Срединного хребта, начиная свое простираие от северного окончания Срединного Камчатского массива и заканчиваясь около камчатского перешейка. Геологический состав однороден и в основном представлен базальтами. На водоразделе, в северо-восточном направлении, располагаются потухшие и отчасти разрушенные конусы стратовулканов вместе с поднятиями щитовидных вулканов. Единственный вулкан, проявлявший сольфатарную активность, именуется сопкой Ичинской [1].

Программное обеспечение и состав аппаратного комплекса MTU-5

Магнитотеллурические зондирование выполнялось с использованием аппаратуры MTU-5, в комплект которой входит:

- 2 пятиканальные измерительные станции MTU-5, позволяющие регистрировать электрические (E_x , E_y) и магнитные (H_x , H_y , H_z) компоненты магнитотеллурического поля

- вариации электрического поля измерялись с помощью электрических диполей длиной около 80 м со слабополяризующимися электродами (10 штук +20 запасных)
- вариации магнитного поля записывались с помощью индукционных датчиков МТС-50 (4 штуки) и АМТС-30 для записи в режиме АМТЗ (2 штуки).

Для приведения станции в диалоговый режим для передачи файлов с MTU на компьютер и редактирования данных требуются определенные компьютерные программы компании Phoenix. Имеются две основные функционирующие в среде Windows программы для конфигурирования и управления MTU-5: Off-Line Start-Up Table Editor и WinHost On-Line Interface MTU. Два других пакета программ MTUROBST и TBS требуются, чтобы обрабатывать и редактировать данные, зарегистрированные MTU приборами.

Off-Line Start-Up Table Editor используется для создания файла определяющего параметры регистрации электромагнитных полей и несущим служебную информацию о точке регистрации. Эта программа не может контролировать текущее состояние MTU-5, и многие из функций этой программы интегрированы также в программу WinHost. Тем не менее, автономный редактор полезен для заблаговременной заготовки стартового табло, например в полевом лагере, когда MTU-5 не доступен.

WinHost On-Line Interface позволяет управлять прибором, осуществлять мониторинг его состояния и контролировать основные параметры MTU при помощи подключенного компьютера через параллельный порт.

MTUROBST – этот пакет программ используется для обработки временных рядов, зарегистрированных MTU прибором, с применением или без робастных оценок. Обработанные и оптимизированные данные (кривые МТЗ) сохраняются в виде файлов спектров мощности (Crosspower Files or XPR files).

TBS используется для просмотра и редактирования файлов, полученных с помощью пакета MTUROBST. Редактирование проводится путем отбраковки худших реализаций спектров мощности с целью улучшить конечный результат осреднения. TBS также способна конвертировать Crosspower файлы в стандартные в EDI файлы, которые в последствии будут использоваться со специализированным программным обеспечением для анализа, редактирования интерпретации МТ данных [2].

Методика проведения наблюдений и условия выбора МТ участка

Подготовка оборудования к процессу регистрации магнитотеллурических данных состоит из следующих стадий: калибровка прибора MTU-5 и магнитных датчиков, создание стартового табло и загрузка его в прибор, установка комплекса MTU-5 на точке наблюдений. После окончания регистрации МТ-поля производится перезапись информации из прибора MTU-5 в компьютер при помощи WinHost, после чего выполняется предварительная обработка и анализ полученных данных с помощью программного комплекса TBS [2].

Участок для проведения измерений отбирается по следующим критериям: наличие относительно ровного участка 100 на 100 метров, отсутствие ЛЭП и шоссейных дорог в радиусе 200 метров от пункта измерений. Для исключения влияния микросейсмических колебаний датчики размещают вдали от крон деревьев и

кустарников. Провода электрических линий должны быть уложены непосредственно на землю и закреплены таким образом, чтобы исключить их колебания под действием ветра. Мягкий и болотистый грунт наиболее сильно подвержен колебаниям под воздействием ветра, поэтому, по возможности следует избегать таких мест для установки точки МТЗ, по крайней мере, магнитных датчиков. Даже высокая трава и мелкий кустарник могут вызывать микросейсмические колебания почвы, а с ней и магнитных датчиков. Следовательно, место вокруг магнитного датчика должно быть очищено от травы [3].

Схема расстановки станций определяется инструкцией и условиями съёмки. Обычно расстановка осуществляется с использованием следующей методики (рис. 2).

Рис. 2. Схема установки станции MTU-5

- зондирования проводятся на сравнительно ровной площадке размером 100 x 100 м;
- ветровые помехи устраняются путем прикапывания электрических диполей и размещения индукционных датчиков в канавах, прикапываемых землей;
- используется пятиэлектродная крестообразная электрическая измерительная установка, заземленная слабополяризующимися электродами;
- линии электрических датчиков выкладываются по буссоли;
- магнитные датчики выставляются по уровню и буссоли.

Обработка магнитотеллурических данных

Обработка МТ-данных выполнена с использованием программ SSMT-2000, Synchro Time Series View (Phoenix Geophysics Ltd) и MT-Editor (ООО "Северо-Запад").

Synchro Time Series View принимает данные временных рядов записанных станцией и отображает их в графическом формате. Эта программа также позволяет вычислять плотность спектров мощности и когерентность между каналами. Данная программа предназначена для просмотра качества записи сразу после завершения работы станции. При неудовлетворительном качестве данных производилось повторное измерение на проблемном пункте.

SSMT-2000 использует файлы временного ряда, файлы калибровки и файлы параметров участка исследований. На промежуточном этапе, данная программа производит расчет коэффициентов Фурье, рассчитывает функции взаимной корреляции электрических и магнитных компонент поля. В конце расчетов программа определяет кросс спектры мощности и пересчитывает их в компоненты тензора импеданса. Результатом расчетов программы является файл MT Plot, который используется в следующем этапе обработки данных.

MT-Editor принимает файлы MT Plot созданные программой SSMT 2000 и отображает фазовые кривые и кривые удельного сопротивления, а также индивидуальные кросс-спектры использованные при расчете каждой точки на кривых. Зашумленные кросс-спектры исключаются из построения кривой (рис. 3), путем автоматической или ручной обработки точек записи.

Рис. 3. Процесс «очистки» кривой от шумов в программе MT-Editor. А – исходный вид необработанных накоплений от шумов, Б – конечный вариант кривой после обработки

Программа также позволяет отобразить различные параметры файла MT Plot: магнитуду типпера, когерентность между каналами и направление поля. Основная задача работы в программе MT Editor заключается в сглаживании кривой

кажущегося сопротивления. Программа предусматривает вычитание отдельных участков кросс-спектров из построения кривой. Магнитотеллурическая станция ведет запись поля накоплениями, для улучшения качества записи. Такой метод записи позволяет избежать ухудшения данных из-за влияния временных помех (деятельность животных, проезжавшие машины, дождь, сильный ветер). Результатом обработки является EDI файл, который будет использоваться для дальнейшей обработки интерпретации данных [4].

MT-Corrector поддерживает формат EDI файлов, позволяет просматривать, редактировать и строить гладкие сплайн аппроксимаций частотных зависимостей компонент тензора импеданса, матриц Визе-Паркинсона, горизонтального магнитного и теллурического тензоров. Главной задачей в программе является борьба с искажениями данных путем построение сглаженной кривой – сплайнов (рис. 4).

Рис. 4. Процесс построения сплайна в программе MT-Corrector. А – начальный вид сплайна до обработки, Б – конечный вид сплайна

В некоторых участках графика происходит рассыпание точек, которые искажают общую картину. С помощью сплайна можно восстановить кривые во всем диапазоне частот. Исключив из графика лишние точки и пересчитав кривую сплайна, можно восстановить кривую в диапазоне потерянных точек. Проводя сплайны, следует руководствоваться тем, что компоненты импеданса и других передаточных функций представляют собой гладкую кривую. В большинстве случаев компоненты импеданса выглядят как убывающие функции, поэтому в случае нарушения участков, следует удалять проблемные точки [4].

Заключение

За время проведения геофизических исследований по профилю между Шанучским и Агинским месторождениям были записаны 20 точек магнитотеллурического зондирования в варианте регистрации двухмерных компонент поля. Протяженность профиля 54 км, шаг наблюдений неравномерный –

от 2 до 5 км. Сеть наблюдений сгущалась вблизи от месторождений. Регистрация магнитотеллурического поля проводилась в синхронном режиме двумя станциями одновременно. Время записи станций на одной точке колеблется от 24 часов до двух суток. Наблюдения магнитотеллурического поля проводились в диапазоне периодов 0.003-3000 секунд. Длина электрических линий составляет около 80 м, азимут линий 30 и 120 градусов. Магнитные датчики также ориентировались по магнитным азимутам 30 и 120 градусов. Выбор данной азимутальной ориентировки связан с направлением простирания основных геологических структур в данном районе. В результате обработки данных были получены продольные и поперечные кривые. По данным кривым построены пространственно-временные псевдо-разрезы кажущегося сопротивления и фазы импеданса (рис. 5).

Рис. 5. Пространственно-временные разрезы продольного (а) и поперечного (б) кажущегося электрического сопротивления и фазы импеданса в районе Шанучского и Агинского месторождений

Псевдо-разрез указывает на особенность распределения геоэлектрических неоднородностей в зависимости от периода вариации магнитотеллурического поля.

Конкурирующие интересы. Авторы заявляют, что конфликтов интересов в отношении авторства и публикации нет.

Авторский вклад и ответственность. Все авторы участвовали в написании статьи и полностью несут ответственность за предоставление окончательной версии статьи в печать. Окончательная версия рукописи была одобрена всеми авторами.

Список литературы/References

- [1] *Геология СССР. Камчатка, Курильские острова. Геологическое описание.* Т. 31, Недра, М., 1964. [*Geologiya SSSR. Kamchatka, Kuril'skiye ostrova. Geologicheskoye opisaniye.* V. 31, Nedra, M., 1964].
- [2] «Руководство по эксплуатации аппаратуры V5-2000 MTU для метода MTЗ», 2001. [*Rukovodstvo po ekspluatatsii apparatury V5-2000 MTU dlya metoda MTZ*», 2001].
- [3] Ваньян Л. Л., *Электромагнитные зондирования*, «Научный мир», М., 1997. [Van'yan L. L., *Elektromagnitnyye zondirovaniya.*, «Nauchnyy mir», М., 1997].
- [4] *Data Processing User Guide*, Version 3.0 July 2005, Phoenix Geophysics Ltd, 2005.

Experience of working with the MTU-5 magnetotelluric complex for studying the deep structure of the Shanuch and Aginsky deposits in Kamchatka

V. A. Dzhigimon¹, I. S. Ulybyshev²

¹ Kamchatka State University by Vitus Bering, 683032, PetropavlovskKamchatskiy, Pogranichnaya st, 4, Russia

² Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, 683006, Petropavlovsk-Kamchatsky, Piipa boulevard, 9

E-mail: victoria.died@gmail.com

This article describes the methodology for conducting field research, the process of processing magnetotelluric data and the features of working with the MTU-5 hardware complex.

Key words: MTS, magnetotelluric sounding method, MTU-5, Shanuch, Aginskoe, Kamchatka

DOI: 10.26117/2079-6641-2021-35-2-91-99

Original article submitted: 09.02.2021

Revision submitted: 09.03.2021

For citation. Dzhigimon V. A., Ulybyshev I. S. Experience of working with the MTU-5 magnetotelluric complex for studying the deep structure of the Shanuch and Aginsky deposits in Kamchatka. *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki.* 2021, **35**: 2, 91-99. DOI: 10.26117/2079-6641-2021-35-2-91-99

Competing interests. The authors declare that there are no conflicts of interest regarding authorship and publication.

Contribution and Responsibility. All authors contributed to this article. Authors are solely responsible for providing the final version of the article in print. The final version of the manuscript was approved by all authors.

The content is published under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru>)

© Dzhigimon V. A., Ulybyshev I. S., 2021

Funding. The study was carried out without financial support from foundations.