

ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ЛИТОСФЕРЫ РАЙОНА ОЛЮТОРСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В КОРЯЖСКОМ НАГОРЬЕ

¹ Мороз Ю.Ф., ¹ Мороз Т.А., ¹ Логинов В.А., ² Нурмухамедов А.Г. ³ Алексеев Д.А., ³ Яковлев А.Г.

¹Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск- Камчатский,

²ОАО «Камчатгеология»

³ООО «Северо-Запад»

По средним продольным и поперечным кривым МТЗ свободным от локальных эффектов с помощью численного двумерного моделирования получена обобщённая геоэлектрическая модель очага Олюторского землетрясения. Гипоцентры Олюторского землетрясения и его афтершоков приурочены к высокоомной толще земной коры, расположенной между проводящим осадочно-вулканогенным чехлом и коровым проводящим слоем. В результате инверсии индивидуальных кривых МТЗ с помощью программы REBOSS установлено, что до землетрясения литосфера содержала субвертикальные зоны повышенной электропроводности в районе Авьинского синклинория и в области сочленения Коряжской и Олюторской складчатых областей. После землетрясения проводящие зоны в районе Авьинского синклинория на глубинах более 15 км практически исчезли. Однако, в других местах верхних частей земной коры появились проводящие зоны шириной в первые километры. Они выражены от приповерхностных частей земной коры до глубин 10-15 км. Наиболее заметные изменения электропроводности среды произошли в области сочленения Коряжской и Олюторской складчатых зон. Здесь сильно изменились границы и увеличились размеры проводящей зоны, которая имеет продолжение в верхнюю мантию до глубины 100 и более км. На дневной поверхности проводящая зона проявилась в виде трещины протяжённостью около 80 км. Предполагается, что проводящие зоны связаны с глубинными разломами. Повышенная электропроводность разломов может быть обусловлена наличием высокоминерализованных растворов и магматических расплавов.

Ключевые слова: электропроводность, магнитотеллурическое зондирование, проводящая зона, очаг землетрясения, разлом

Введение

В Коряжском нагорье в последние два десятилетия произошло два сильных землетрясения - Хаилинское (08.03.1991 г.; $M_w = 6.6$) и Олюторское (20.04.2006 г.; $M_w = 7.6$), эпицентры которых расположены близко один от другого. Очаговая область Олюторского землетрясения выделена по его афтершокам [2,5]. Примерные размеры области 100 X 260 км. Рассматриваемый район ранее изучен мелкомасштабной гравиметрической, аэромагнитной съёмками, маршрутными исследованиями методом магнитотеллурического зондирования (МТЗ) [3]. В последние годы в Коряжском нагорье предприятиями «Камчатгеология», «ГЕОН» и «Северо-Запад» проведены исследования МТЗ и МВЗ. Результаты работ подробно изложены в [1,4,6]. Важно отметить, что очаговая область землетрясения пересечена профилями МТЗ и МВЗ с шагом 2-5 км (рис.1), а по одному из них наблюдения МТЗ проводились дважды: до землетрясения и после. Мы располагаем данными о местоположении и примерных размерах очага Олюторского землетрясения, гипоцентрах землетрясения и его афтершоков [2,5]. Поэтому, появилась возможность определить положение указанных гипоцентров в структуре электропроводности литосферы и оценить в какой мере изменилась электропроводность геологической среды в связи с землетрясением.

Интерпретация зондирований

Методика интерпретации МТЗ определена на основе анализа магнитотеллурических параметров, характеризующих локальные и региональные геоэлектрические неоднородности среды. В результате анализа установлено, что в низкочастотном диапазоне геоэлектрические неоднородности в первом приближении можно аппроксимировать в качестве двумерных. Это связано с вытянутостью структур в северо-восточном направлении. В основу интерпретации приняты кривые, полученные в главных направлениях, которые в большинстве случаев ориентированы по направлениям близким простиранию и вкрест простирания основных структурных зон. В дальнейшем эти кривые будем называть продольными и поперечными.

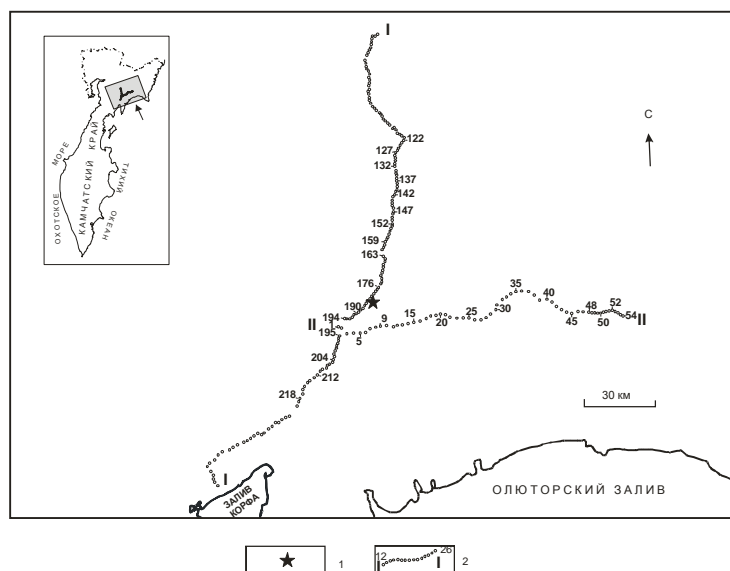


Рис.1. Схема расположения пунктов МТЗ. 1-эпицентр Олюторского землетрясения, 2-профиль I-I

Форма кривых МТЗ отвечает определённому типу геоэлектрического разреза. Следовательно, кривые МТЗ, близкие по своей форме, отражают сходный глубинный геоэлектрический разрез. Этот принцип положен в основу получения глубинных геоэлектрических разрезов по профилям МТЗ. Организовав кривые МТЗ, близкие по своей форме в семейства, мы тем самым выделим на профилях районы с различным типом глубинного геоэлектрического разреза. Каждый из выделенных районов характеризуется своей формой продольных и поперечных кривых. Анализ показывает, что амплитудные кривые сохраняя свою форму сильно расходятся по уровню сопротивлений. В то же время фазовые кривые расходятся между собой незначительно. Это свидетельствует о влиянии эффекта ρ (статистический сдвиг амплитудных кривых). Эффект связан с влиянием локальных геоэлектрических неоднородностей. Для его ослабления выполнено конформное осреднение амплитудных и фазовых продольных и поперечных кривых МТЗ.

Полученные средние продольные и поперечные кривые МТЗ различаются по форме, что связано с геоэлектрической неоднородностью среды. Большинство кривых имеют в левой части минимум, отражающий наличие осадочно-вулканогенного чехла пониженного электрического сопротивления. В большей мере минимумы выражены во впадинах, выполненных преимущественно терригенными осадочными отложениями. Максимумы в средней части кривых МТЗ обусловлены слоем земной коры повышенного электрического сопротивления. Большинство кривых в правой части представлены минимумом или нисходящей ветвью, указывающих на уменьшение электропроводности с глубиной.

Геоэлектрические разрезы земной коры получены по данным инверсии продольных кривых МТЗ, которые обладают повышенной разрешающей способностью к наличию глубинных проводящих слоёв. Инверсия выполнена с помощью численного двуиерного моделирования МТ- поля. Поперечные кривые использовались совместно с продольными для уточнения геоэлектрической модели. Это дало возможность выявить глубинные разломы в комплексе с другими геолого-геофизическими данными.

Результаты интерпретации

Геоэлектрическая модель области очага Олюторского землетрясения включает три слоя: осадочно-вулканогенный чехол пониженного электрического сопротивления, высокоомный слой коры и литосферный слой повышенной электропроводности. Осадочно-вулканогенный чехол имеет увеличенную мощность и повышенную электропроводность в синклиниях, впадинах и прогибах. Увеличенная электропроводность связана с преобладанием в разрезе терригенных пород. Это определяет пониженную плотность чехла. Высокоомный слой земной коры сложен метаморфическими и дислоцированными породами, характеризующиеся высокой плотностью. Глубина залегания литосферного слоя повышенной электропроводности меняется от 10-20 до 30-50 км. Природа слоя связывается с наличием жидких флюидов. Гипоцентры Олюторского землетрясения и его афтершоков приурочены к высокоомной толще земной коры, расположенной между проводящим осадочно-вулканогенным чехлом и литосферным слоем. В этой толще происходило накопление тектонических напряжений при взаимодействии плит.

Следует отметить, что рассмотренная модель получена по данным МТЗ по удлиненному профилю, оработанному в 2004 году. Как мы уже отмечали, средняя часть профиля была повторена после землетрясения в 2008 году. Важно было выяснить в какой мере изменилась электропроводность геологической среды в связи с землетрясением. Поэтому предпринята попытка инверсии продольных и поперечных индивидуальных кривых МТЗ с помощью программы REBOCC, полученных до землетрясения и после. Эта программа дает возможность в лучшей мере выявить аномальные зоны электропроводности, которые могут быть связаны с глубинными разломами.

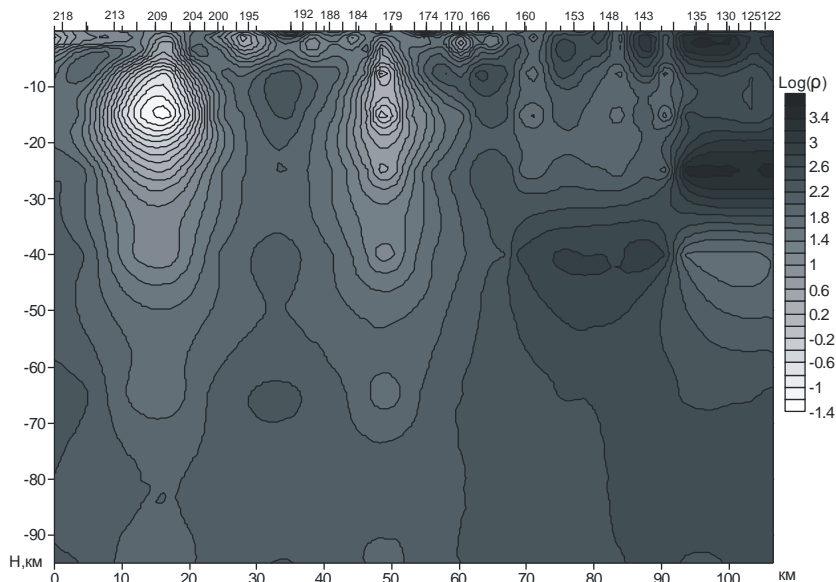


Рис.2. Геоэлектрический разрез по профилю I-I до Олюторского землетрясения

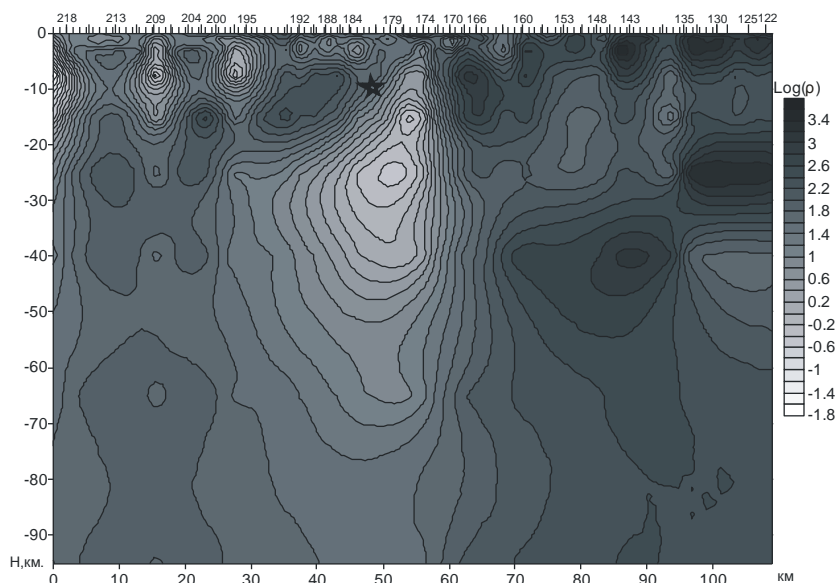


Рис.3. Геоэлектрический разрез по профилю I-I после Олюторского землетрясения
Звездочкой изображен гипоцентр землетрясения

В результате инверсии индивидуальных кривых МТЗ выявлены следующие особенности в структуре электропроводности литосферы. На рис.2 видно, что до землетрясения литосфера содержит зоны повышенной электропроводности в районе Авьинского синклинория (МТЗ-209) и в области сочленения Корякской и Олюторской складчатых областей (МТЗ-179). Проводящие зоны с удельным электрическим сопротивлением от первых единиц до первых десятков Омм выражены на глубинах от приповерхностных частей земной коры до 40 км. Под Авьинским синклинорием ширина зоны достигает почти 10 км на глубинах 10-20 км. В области сочленения складчатых зон она составляет около 6км. В приповерхностных частях разреза ширина зон сокращается на порядки. Здесь они выражены в виде разломов, закартированных геологической съемкой.

После землетрясения структура электропроводности литосферы в значительной мере изменилась (рис.3). Проводящая зона в районе Авьинского синклинория на глубинах более 15 км практически исчезла. Однако, в верхних частях земной коры появились проводящие зоны шириной в первые километры. Они проявились от приповерхностных частей земной коры до глубин 10-15 км. Наиболее заметные изменения электропроводности среды произошли в области сочленения Корякской и Олюторской складчатых зон. Здесь сильно изменились границы и увеличились размеры проводящей зоны. Северо-западная граница является субвертикальной. Юго-восточная граница в пределах земной коры имеет наклон около 30 градусов. С глубиной ширина зоны возросла в юго-восточном направлении. На глубине 30 км ширина зоны достигает почти 30 км. Зона имеет продолжение в верхнюю мантию до глубины 100 и более км, Удельное электрическое сопротивление зоны меняется от первых единиц до первых десятков Ом. Пониженные значения сопротивлений отмечаются на глубинах 20-30 км. На дневной поверхности проводящая зона проявилась в виде трещины протяженностью около 80 км.

Предполагается, что проводящие зоны связаны с глубинными разломами. Повышенная электропроводность разломов обусловлена наличием высокоминерализованных растворов и магматических расплавов. Возникновение жидких флюидов возможно при снятии напряжений в литосфере при образовании разломов. Грубые оценки показывают, что достаточно сотен-десятых долей процента относительного объема флюида в связанных каналах, чтобы обеспечить уменьшение сопротивления горной породы до первых десятков-единиц Ом. Примерные расчеты показывают, что если, согласно существующих представлений, принять удельное электрическое сопротивление флюида в земной коре равным 0,01 Ом, то при удельном электрическом сопротивлении разлома в первые единицы Ом, пористость пород будет достигать первых единиц процентов при полной связанности пор. Очевидно пористость будет больше, если учесть изолированные и тупиковые каналы. При удельном электрическом сопротивлении 100 Ом пористость пород уменьшится на два порядка.

Таким образом, изменение электропроводности геоэлектрической среды свидетельствует об изменении пористости пород в связи с Олюторским землетрясением. Это изменение вызвано геодинамическими процессами, которые, как видно, из геоэлектрических разрезов, затронули толщи литосферы до глубины 70-80 км.

1. Белявский В.В., Золотов Е.Е., Нурмухамедов А.Г., Ракитов В.А., Шпак И.П., Храпов А.В., Яковлев А.Г. Сейсмоэлектрическая модель Охотско-Чукотского вулканогенного пояса и Центрально-Корякской складчатой зоны по профилю Верхне – Пенжино – Корф // 2008, № 2. С. 30 – 44.
2. Ландер А.В., Левина В.И., Иванова Е.И. Сейсмическая история Корякского нагорья и афтершоковый процесс Олюторского землетрясения 20(21) апреля 2006 г. $M_w = 7.6$ // Вулканология и сейсмология Корякского Нагорья. 2010. № 2. С. 16 – 30.
3. Мороз Ю.Ф. Глубинное строение юго-западной части Корякского нагорья // Советская геология. 1987а. № 5. С. 118 – 123.
4. Нурмухамедов А.Г., Мороз Ю.Ф. Глубинное строение северо-восточной части Корякско-Камчатской области по данным региональных геофизических исследований // Геофизический журнал, 2009, № 3. т. 31. С. 74 – 82.
5. Чебров В.Н., Сеников С.Л. Сейсмологические наблюдения на территории Корякского автономного округа, оперативная обработка Олюторского землетрясения 20(21) апреля 2006 г. $M_w = 7.6$ и его афтершоков // Олюторское землетрясение (20(21) апреля 2006 г., Корякское нагорье). Первые результаты исследований, Петропавловск-Камчатский: КФ ГС РАН, 2007. С. 7 – 13.
6. Яковлев А.Г. Электроразведочные работы АМТЗ - МТЗ-ГМТЗ на региональном увязочном профиле МОВЗ-МТЗ м. Лопатка, Москва. ООО Северо-Запад, 2010.