

**ГЛУБИННАЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ РАЙОНА ПУНКТА КОМПЛЕКСНЫХ  
ГЕОФИЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ КАРЫМШИНА (КАМЧАТКА) ПО ДАННЫМ  
МОНИТОРИНГА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ**

*Мороз Ю.Ф. Мороз Т.А.*

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, morozyf@kscnet.ru;  
moroz@irk.ru*

В пункте «Карымшина» ведутся многолетние наблюдения вариаций электротеллурического поля Камчатской опытно-методической сейсмологической партией Геофизической службы РАН. Наряду с электротеллурическим полем осуществляется регистрация вариаций геомагнитного поля Институтом космических исследований и распространения радиоволн. Эти данные дают возможность получить представление о структуре электропроводности земной коры и верхней мантии в районе наблюдений. Для изучения глубинной электропроводности использованы синхронные временные ряды вариации электротеллурического и магнитного полей длительностью полгода с дискретностью 1 с. Расчеты выполнены с помощью специальной программы. Кривые МТЗ получены в диапазоне периодов от 64 – 10000 с. Полярные диаграммы импедансов свидетельствуют о двумерно-неоднородной геологической среде. Большая ось диаграмм основного импеданса (ось однородности среды) ориентирована примерно вкост простирания восточного побережья Камчатки. Уже на первоначальном этапе анализа можно предположить, что в электротеллурическом поле могут быть выражены эффекты, связанные с влиянием локальных и региональных геоэлектрических неоднородностей среды. Оценка влияния локальных геоэлектрических неоднородностей выполнена путем сравнительного анализа кривых, полученных с использованием измерительных линий различной длины. На рис. 1 приведены совмещенные амплитудные и фазовые низкочастотные кривые МТЗ в направлениях С-Ю и З-В.

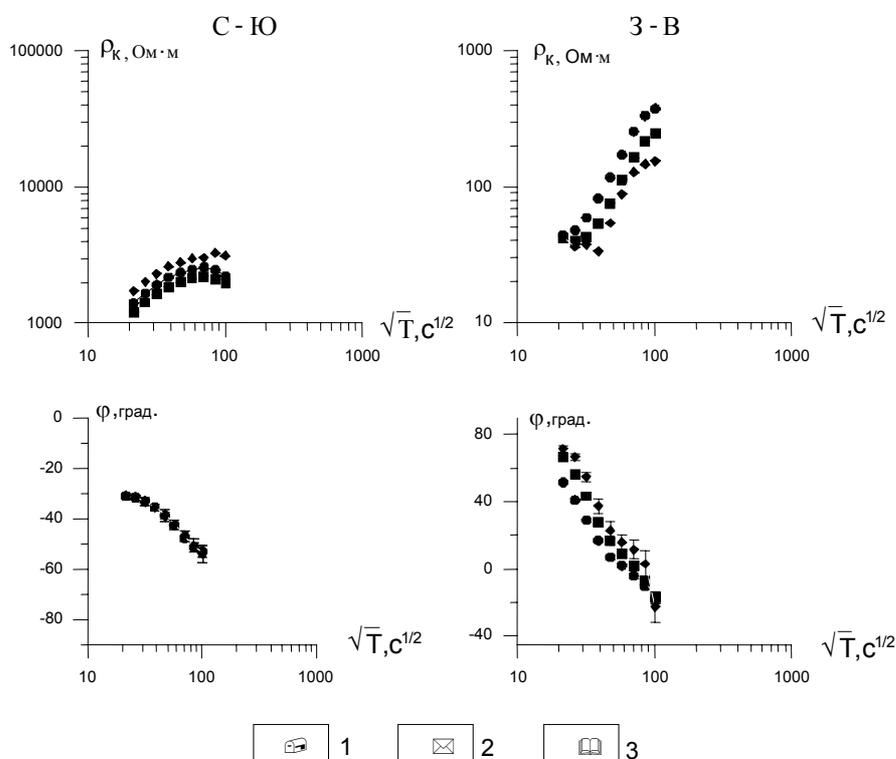


Рис.1. Кривые МТЗ в направлениях С-Ю и З-В для линий различной длины. 1, 2, 3 – кривые МТЗ для линий 03-06; 02-05 и 01-04, соответственно.

Рассмотрим кривые в направлении С-Ю. На рис. 1 видно, что амплитудные кривые для различных линии заметно расходятся по уровню сопротивлений. В то же время фазовые кривые

практически совпадают между собой. То же самое относится к кривым МТЗ в направлении З-В. Несовпадение здесь фазовых кривых связано с пониженной точностью определения фаз. Сильное расхождение амплитудных кривых и совпадение фазовых кривых для линий MN различной длины свидетельствует о гальваническом эффекте в электротеллурическом поле. Данный эффект связан с наличием локальных геоэлектрических неоднородностей в районе приемных линий MN. Возникает вопрос, какую кривую следует использовать для изучения электропроводности среды? По-видимому, более разумным будет использовать средние максимальные и минимальные кривые МТЗ.

Для получения более полной информации о геоэлектрическом разрезе мы попытаемся дополнить средние максимальные и минимальные кривые МТЗ значениями кажущихся электрических сопротивлений в более высоком частотном диапазоне. С этой целью выполнена обработка данных электротеллурического поля и вариаций геомагнитного поля с дискретностью 1 с. Наряду с этим привлечены данные высокочастотного МТЗ, полученного в прошлые годы в одном километре от пункта Карымшина. Минимальные кривые, отвечающие направлению близкому к простиранию Камчатки, будем называть продольными, а максимальные кривые, ориентированные примерно поперек Камчатки, будем называть поперечными.

Обобщенные кривые МТЗ приведены на рис.2. На нем видно, что низкочастотная ветвь поперечной кривой в лучшей мере согласуется по уровню сопротивлений с высокочастотной ветвью поперечной кривой, чем высокочастотная и низкочастотная ветви продольной кривой МТЗ. Продольная высокочастотная ветвь располагается заметно выше по уровню сопротивлений относительно низкочастотной продольной ветви. Значения кажущегося электрического сопротивления на периодах 64 с расходятся примерно в 6 раз. Это можно объяснить влиянием локальной геоэлектрической неоднородности.

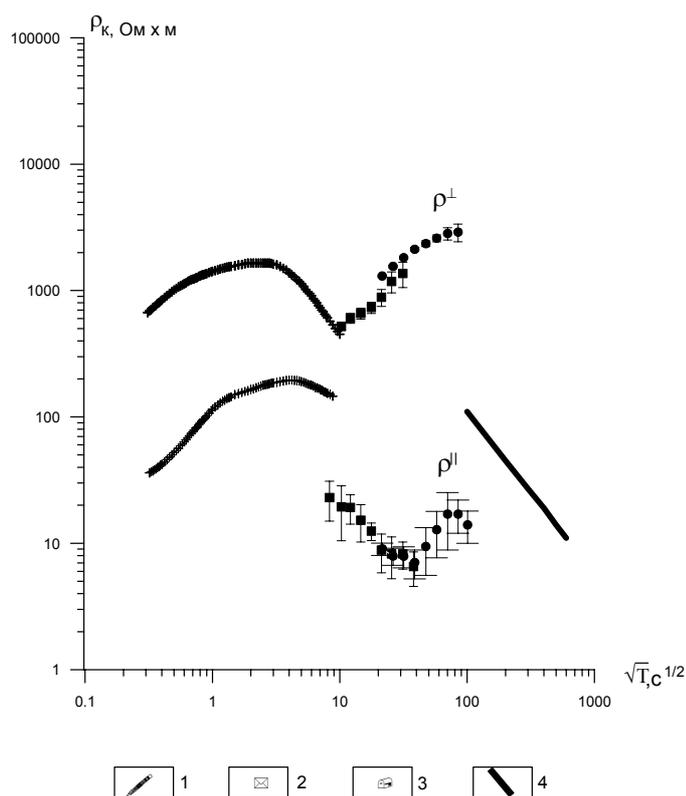


Рис.2. Обобщенные кривые МТЗ в п. Карымшина. 1 – кривые МТЗ по данным электроразведочной станции в пункте, удаленном на 1 км от п. Карымшина; 2 и 3 – кривые МТЗ по результатам обработки данных с дискретностью 1 с и 1 мин, соответственно; 4 – стандартная кривая кажущегося электрического сопротивления.  $\rho^{\perp}$  и  $\rho^{\parallel}$  - продольная и поперечная кривые МТЗ.

Не принимая во внимание высокочастотные кривые МТЗ, обратимся к низкочастотным кривым МТЗ (диапазон периодов – 100-10000 с). На рис.2 видно, что продольная и поперечная кривые МТЗ существенно различаются по форме и уровню сопротивлений. Поперечная кривая представлена восходящей асимптотической ветвью со слабо выраженным минимумом в области периодов 50-2500 с. Продольная кривая имеет хорошо выраженный минимум. Кривые различаются

по уровню сопротивлений почти на порядок. Такое различие кривых свидетельствует о влиянии региональной геоэлектрической неоднородности, которая вызывает сильные эффекты в магнитотеллурическом поле. Рассмотрим возможную природу данных эффектов.

В первую очередь мы должны обратить внимание на береговой эффект, так как пункт Карымшина расположен на расстоянии 20-30 км от берега Тихого океана, где соприкасаются среды, электрическое удельное сопротивление которых различается более чем на три порядка. Морская вода имеет сопротивление около 0.25 Ом·м, а горные породы на суше обладают сопротивлением в десятки-сотни Ом·м и более. Из-за такого контраста сопротивлений возникает сильная аномалия в электромагнитном поле Земли, получившая название берегового эффекта. Рассмотрим в какой мере береговой эффект затрагивает кривую МТЗ в пункте Карымшина. Для этой цели воспользуемся данными численного трехмерного моделирования магнитотеллурического поля Камчатки.

Пробная модель включает однородный верхний слой на суше и неоднородный водный слой в акваториях Охотского моря и Тихого океана. Глубинный геоэлектрический разрез является стандартным. Трехмерное численное моделирование магнитотеллурического поля выполнено по программе [ 3 ]. Размеры сетки сгущались до 5 км. Водный слой задан по данным батиметрии. Удельное электрическое сопротивление морской воды принято 0.25 Ом·м. Верхний слой на суше имеет удельное электрическое сопротивление 30 Ом·м. В результате моделирования получены кривые МТЗ по направлениям вдоль и вкрест простирания Камчатки. Эти кривые в дальнейшем будем называть продольными и поперечными. На рис.3 видно, что данные кривые в диапазоне периодов от 100 до 10000 с отличаются от локально-нормальной кривой по форме и уровню сопротивлений.

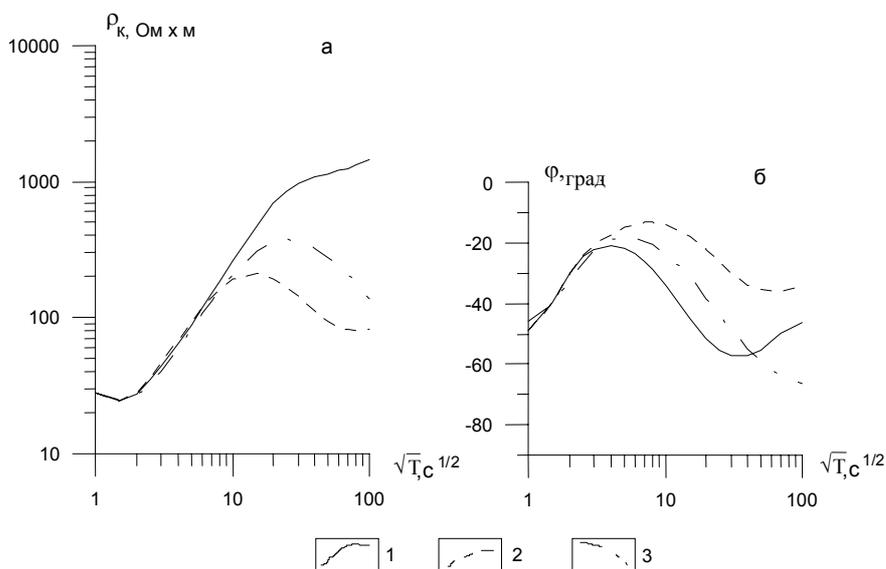


Рис.3. Модельные амплитудные (а) и фазовые (б) кривые МТЗ в пункте Карымшина. 1, 2 и 3 – поперечная, продольная и локально-нормальные кривые МТЗ.

Поперечная кривая затянута по линии S. Кривая представлена крутой восходящей ветвью, которая выполаживается в низкочастотной области. Продольная кривая в указанном диапазоне периодов представлена в виде нисходящей ветви, которая затем выполаживается. При этом продольная кривая занимает более низкий уровень по отношению к локально-нормальной кривой. Анализ показывает, что заметное действие берегового эффекта, т.е. отклонение продольной и поперечной кривых МТЗ от локально-нормальной кривой, начинается примерно на периодах более 100 с. Из этого анализа видно, что поперечная кривая в рассматриваемом диапазоне периодов не отражает глубинный геоэлектрический разрез. Согласно [ 1 ], восходящая ветвь поперечной кривой связана с кондуктивным взаимодействием токов, выраженным в их перетекании из океана (где концентрируется океанический ток) в осадочно-вулканогенный чехол континента. Данный эффект экранирует влияние проводящих слоев в земной коре и верхней мантии. Продольная кривая, начиная от периода 100 с отклоняется от локально-нормальной кривой в сторону уменьшения кажущегося электрического сопротивления. Этот эффект связан с индуктивным взаимодействием токов через их магнитное поле. В прибрежной зоне Камчатки магнитное поле возрастает, а электрическое поле убывает, заметно понижая ветвь продольной кривой в диапазоне 100-10000 с.

Следует обратить внимание на выполаживание поперечной и продольной кривых в низкочастотной области на периодах 2500-10000 с. Это выполаживание связано, по-видимому, с тем, что на длинных периодах проявляется трёхмерность модели. Она связана с вынужденным ограничением модели Камчатки и глубоководного жёлоба со всех сторон из-за ограниченных размеров сетки при моделировании магнитотеллурического поля.

Обратимся к экспериментальным кривым МТЗ (рис.2). Поперечная кривая в области низких частот так же, как и модельная, представлена восходящей асимптотической ветвью. Она не отражает в полной мере глубинный геоэлектрический разрез, начиная с периода 100 с. Важно отметить лишь слабый минимум в области восходящей ветви на периодах 400-600 с, который, как будет отмечено, ниже может быть связан с коровым проводящим слоем. Левая ветвь поперечной кривой на качественном уровне характеризует геоэлектрический разрез верхней части земной коры.

Рассмотрим продольную кривую МТЗ (рис.2). Левая восходящая ветвь обобщенной кривой связана с наличием осадочно-вулканогенного чехла. Максимум кривой отражает высокоомную часть земной коры. Минимум кривой в низкочастотной области (периоды 400-5000 с) свидетельствует о возможности наличия глубинного проводящего слоя. Правая часть кривой располагается ниже стандартной кривой кажущегося электрического сопротивления. За счет берегового эффекта правая часть кривой в минимуме имеет сопротивление примерно в 1.5 - 2 раза ниже. Как мы уже указывали, в диапазоне периодов 5000 – 10000 с модельная кривая может быть искажена за счет ограниченных размеров сетки. По данным двумерного численного моделирования продольная кривая на периоде 10000 с уже «сливается» с локально-нормальной кривой [ 2 ]. Следовательно, даже при редукции продольной кривой в 1.5 – 2 раза в сторону увеличения кажущегося сопротивления, низкочастотная ветвь кривой на периодах 64000 – 100000 с будет располагаться ниже стандартной кривой, что указывает на вероятность наличия астеносферного проводящего слоя в верхней мантии. Однако, однозначно судить об этом нельзя из-за возможного влияния локальных геоэлектрических неоднородностей.

Таким образом, анализ возможных искажений кривой МТЗ в пункте Карымшина приводит к следующим выводам. Продольная и поперечная кривые МТЗ в области коротких периодов расходятся по уровню сопротивлений почти на порядок и более. Это расхождение связано с влиянием локальных геоэлектрических неоднородностей. Различие продольной и поперечной кривых по форме и уровню сопротивлений в низкочастотной области связано с влиянием берегового эффекта, проводящей зоной в литосфере и с влиянием локальных геоэлектрических неоднородностей среды.

Сравнительный анализ продольной и поперечной кривых МТЗ и данные численного моделирования свидетельствуют, что продольная кривая в меньшей мере подвергнута искажениям за счет берегового эффекта. По формальной интерпретации обобщенной продольной кривой МТЗ грубо оценим параметры геоэлектрического разреза. При этом учтем влияние берегового эффекта. Суммарная продольная проводимость осадочно-вулканогенного чехла составляет примерно 25 См, глубина залегания корового проводящего слоя - 20 – 30 км, проводимость корового слоя – 3000 См, глубина залегания астеносферного проводящего слоя – 200 – 300 км. Эти параметры могут быть неточными, так как уровень кривой, как мы уже отмечали, зависит от влияния локальной геоэлектрической неоднородности. Учесть это влияние пока не представляется возможным из-за ограниченной геоэлектрической информации. Учет этого влияния является крайне неоднозначным. Существует ряд редукций для нормализации кривых МТЗ. В нашем случае, можно воспользоваться редукцией, предусматривающей совмещение нисходящей низкочастотной правой ветви кривой МТЗ со стандартной кривой кажущегося электрического сопротивления. Эта редукция возможна, так как кривая МТЗ получена до периодов 8000-10000 с, на которых имеются значения стандартной кривой кажущегося электрического сопротивления. В основе этой редукции лежит гипотеза, что электропроводность верхней мантии на глубинах 200-400 км меняется слабо и низкочастотные ветви кривых МТЗ, отражающие данные глубины, должны быть близки к стандартной кривой.

Результаты редукции показаны на рис.4. Она выполнена путем перемещения продольной кривой МТЗ в диапазоне периодов 100-10000 с вверх по уровню сопротивлений до слияния значений  $\rho_k$  на периоде 10000 с со стандартной кривой кажущегося электрического сопротивления. На рис.4. видно, что низкочастотная кривая удовлетворительно согласуется с высокочастотной кривой. Возможно это случайное совпадение. Результаты формальной интерпретации следующие.

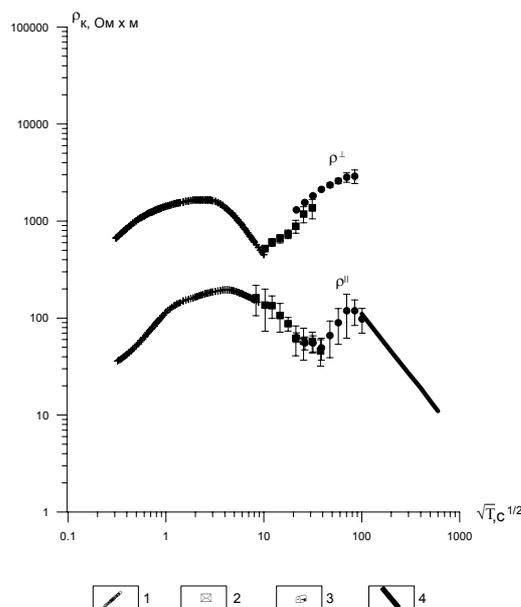


Рис.4. Обобщенные кривые МТЗ. Низкочастотная ветвь кривой в диапазоне 64 – 10000 с редуцирована к стандартной кривой кажущегося электрического сопротивления (условные обозначения см. на рис.2).

Суммарная продольная проводимость осадочно-вулканогенного чехла 25 См, глубина кровли проводящей зоны 40 км, удельное электрическое сопротивление зоны – первые десятки Ом·м. Полученные данные по интерпретации низкочастотной кривой следует считать предварительными по следующим причинам. Во-первых, точность определения кажущихся продольных сопротивлений в диапазоне периодов 3600-10000 с составляет 30 и более процентов. Во-вторых, в указанном диапазоне периодов возможно искажение продольной кривой МТЗ за счет трехмерной структуры п-ова (т.е. замыкание суши на юге и сужение на севере). В-третьих, выполненная редукция, по указанным причинам приводит нас к варианту модели без астеносферного проводящего слоя, что находится в противоречии с выполненными нами ранее исследованиями [2]. Поэтому, для уточнения глубинной части модели необходимы дополнительные исследования МТЗ и МВЗ. Однозначно можно утверждать, что литосфера содержит крупную проводящую зону, которая уверенно выделяется на продольной кривой МТЗ на периодах 100-2500 с. Данная зона на поперечной кривой фиксируется в виде слабо выраженного минимума на периодах 500-1500 с. Минимум на кривых МТЗ может быть связан с глубинным поперечным разломом, находящим отражение в виде линейной магнитной аномалии и гравитационной ступени северо-западного простирания. Повышенная электропроводность горных пород в зоне глубинного разлома может быть связана, по-видимому, с наличием гидротермальных растворов и магматических расплавов.

### Список литературы

1. Бердичевский М.М., Колдаев Д.С., Яковлев А.Г. Магнитотеллурическое зондирование на берегу океана // Физика Земли. 1992. № 6. 87-97 с.
2. Мороз Ю.Ф. Электропроводность земной коры и верхней мантии Камчатки. М.:Наука, 1991.181 с.
3. Mackie K.L., Smith J.T., Madden T.R. Three-dimensional electromagnetic modeling using finite difference equations: the magnetotelluric example // Radio Science. 1994. № 29. P. 923-935.