

УДК 550.372

О ГЛУБИННОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ СРЕДИННОГО МАССИВА ЮЖНОЙ КАМЧАТКИ

Логинов В.А.^{1,2}

¹*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН*

²*Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга*

Научный руководитель д.г.-м.н. Мороз Ю.Ф.

В работе представлены результаты интерпретации магнитотеллурических и магнитовариационных данных по профилю пересекающему Срединный и Ганальский выступы и выходящему в Центрально-Камчатский прогиб. Выполненный анализ МТ данных показал, что геологическую среду можно охарактеризовать двумерно-неоднородной моделью. Поэтому была выполнена инверсия кривых с помощью программы численного двумерного моделирования REBOSS. По продольным кривым получен геоэлектрический разрез литосферы, содержащий слой повышенной электропроводности на глубине 30-40 км. Совместная инверсия продольных, поперечных кривых МТЗ и кривых МВЗ позволила выявить субвертикальные проводники, которые связываются с глубинными разломами. Выявленные особенности глубинной электропроводности находят отражение в данных сейсмической томографии.

Ключевые слова: магнитотеллурическое зондирование, геоэлектрический разрез, глубинный разлом.

ВВЕДЕНИЕ

На южной Камчатке выходит на поверхность домеловой комплекс метаморфических пород, с которым связывается фундамент. Выходы древних пород представляют Срединный Камчатский массив и Ганальский выступ, которые различаются степенью метаморфизма. Этот район характеризуется наличием поперечных глубинных разломов СЗ простирания, пересекающих Южную Камчатку и имеющих продолжение в Тихий океан и Охотское море. Сочленение структур и разломов представляют собой «тектонический узел», определяющий особенности глубинного строения Камчатки. Район характеризуется повышенной рудоносностью и широким проявлением гидротермальной активности. Изучение глубинного строения района представляет повышенный научный и практический интерес. В по-

следние годы здесь выполнены работы методами магнитотеллурического (МТЗ), магнитовариационного (МВЗ) зондирований по профилю, пересекающему Срединно-Камчатский и Ганальский выступы древних пород и выходящему в Центрально-Камчатский прогиб. Эти исследования дают возможность получить новую информацию о распределении глубинной электропроводности и уточнить существующие представления о строении литосферы. Этой теме и посвящена настоящая статья.

МЕТОДИКА МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Меридиональный профиль (рис. 1) протягивается от с. Апачи до Ключевской группы вулканов (пп. 85 - 350). Он пересекает Срединно-Камчатский и Ганальский выступы, и выходит в Центрально-Камчатский прогиб. Здесь проведены работы методами магнитотеллурического (МТЗ) и магнитовариационного (МВЗ) зондирований.

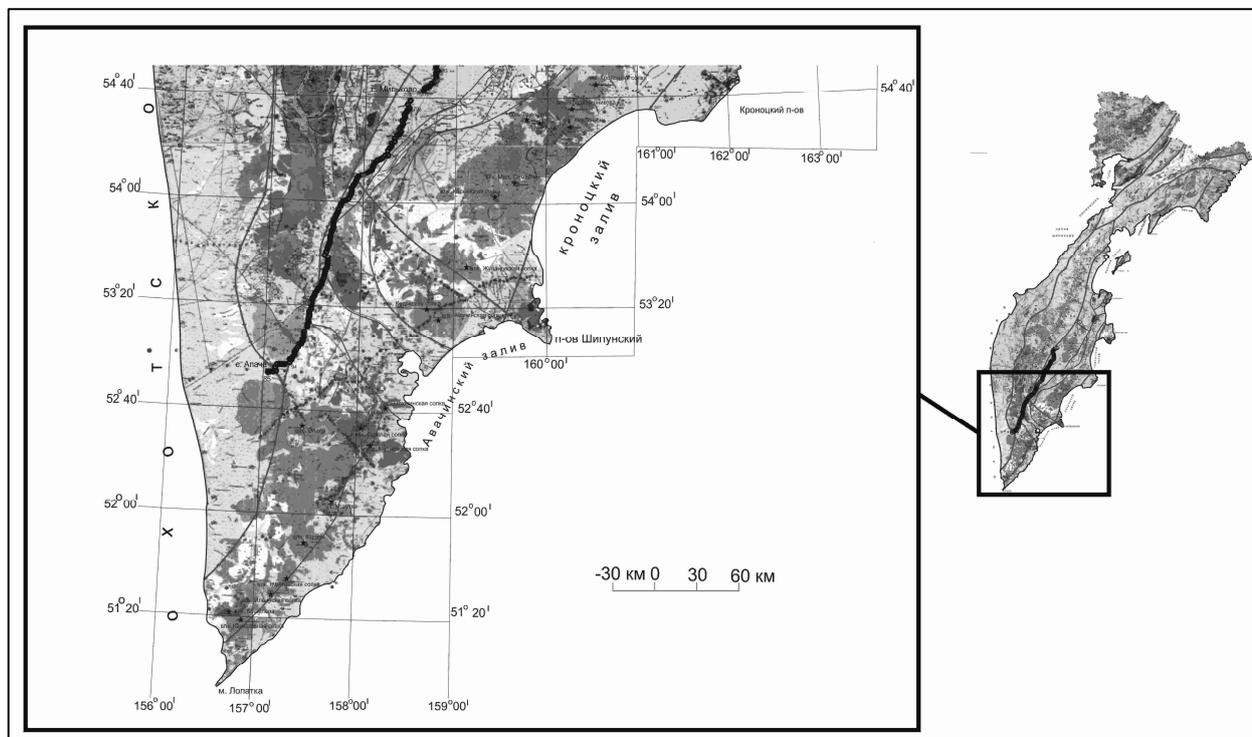


Рис. 1. Схема расположения профиля МТЗ.

Электроразведочные работы выполнялись компанией ООО «Северо-запад» с помощью аппаратуры MTU-5A канадской компании «Phoenix Geophysics Ltd». Регистрировались четыре компонента электромагнитного поля в диапазоне периодов от 0.0001 до 1000 с. и более. Электрические линии длиной 80 м выкладывались по азимутам 30 и 120 град (рис. 2). Шаг между пунктами измерений составлял 2 - 5 км. Обработка полученных материалов выполнена с помощью специального пакета программ. В результате обработки получены тензоры импеданса в каждом пункте измерений.

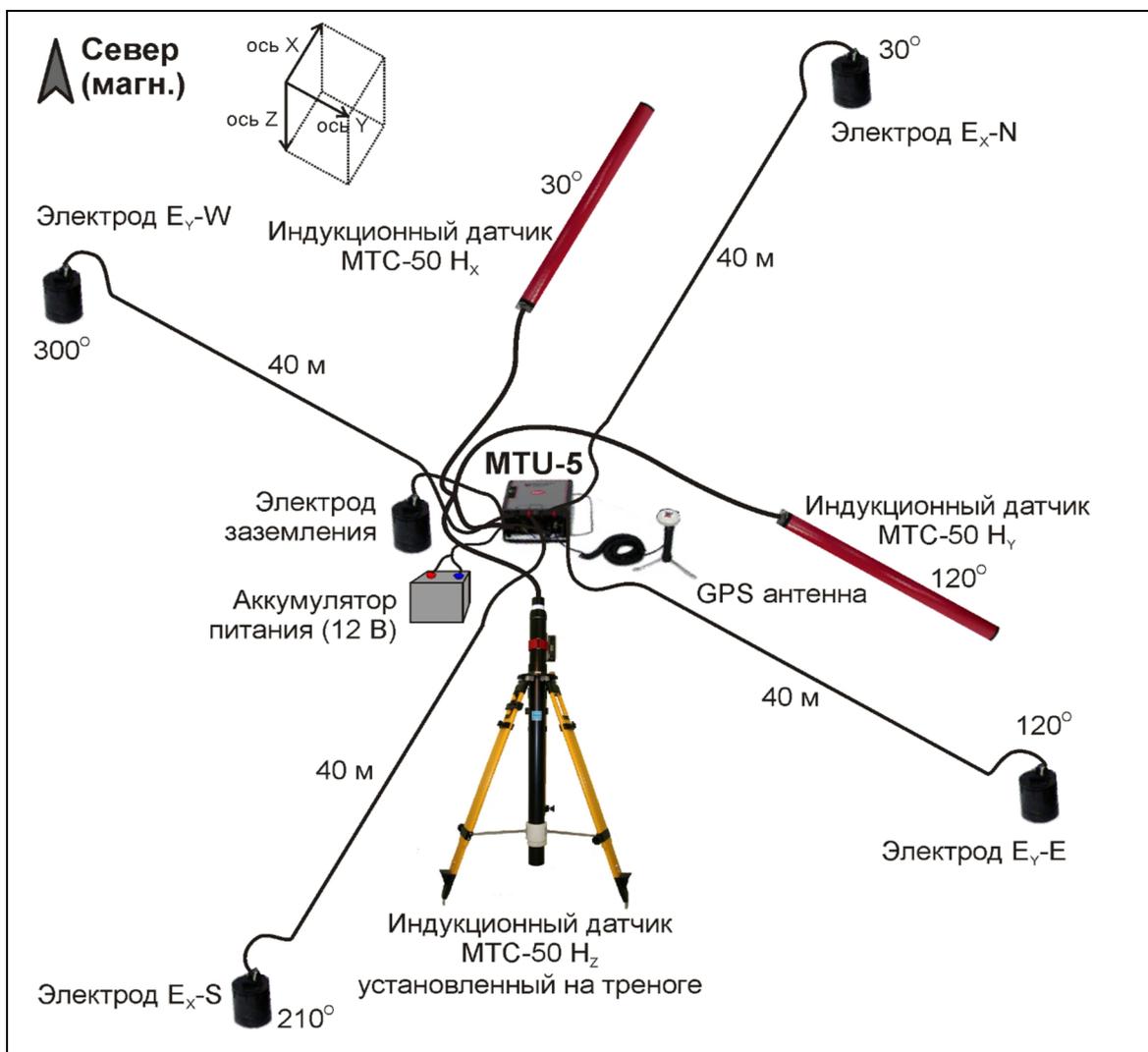


Рис. 2. Схема расстановки измеряющих линий.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

В основе получения данных об электропроводности литосферы лежит связь между горизонтальными векторами электрического и магнитного полей в пункте наблюдения [1]:

$$\mathbf{E}_{\text{гор.}} = [\mathbf{Z}]\mathbf{H}_{\text{гор.}}, \quad \text{где} \quad [\mathbf{Z}] = \begin{bmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{bmatrix} \quad (1)$$

или в развернутом виде:

$$\begin{aligned} E_x &= Z_{xx}H_x + Z_{xy}H_y \\ E_y &= Z_{yx}H_x + Z_{yy}H_y \end{aligned} \quad (2)$$

где $[\mathbf{Z}]$ - тензор импеданса, $Z_{xx}, Z_{xy}, Z_{yx}, Z_{yy}$ - комплексные компоненты тензора импеданса, зависящие от частоты, распределения удельных электрических сопротивлений в Земле и ориентации координатных осей. Компоненты тензора импеданса Z_{xy}, Z_{yx} являются основными, а компоненты Z_{xx}, Z_{yy} - дополнительными.

Для интерпретации выбрана южная часть профиля с п. 85 по п. 202. Построены пространственно-частотные разрезы параметров неоднородности N (рис. 3) и асимметрии $Skews$ (рис. 4) с помощью следующих выражений:

$$N = \left| \sqrt{1 - 4 \frac{Z_{xx}Z_{yy} - Z_{xy}Z_{yx}}{(Z_{xy} - Z_{yx})^2}} \right| \quad (3)$$

$$skews = \left| \frac{Z_{xx} + Z_{yy}}{Z_{xy} - Z_{yx}} \right| \quad (4)$$

Параметр N (3) дает представление о неоднородности геоэлектрической среды [3], а параметр асимметрии $Skews$ (4) позволяет оценить двумерность геоэлектрической среды [5].

На рис. 3 видно, что на большей части разреза, значения N не превышают 0.5, но есть участки с резко выраженной неоднородностью с $N > 0.6$.

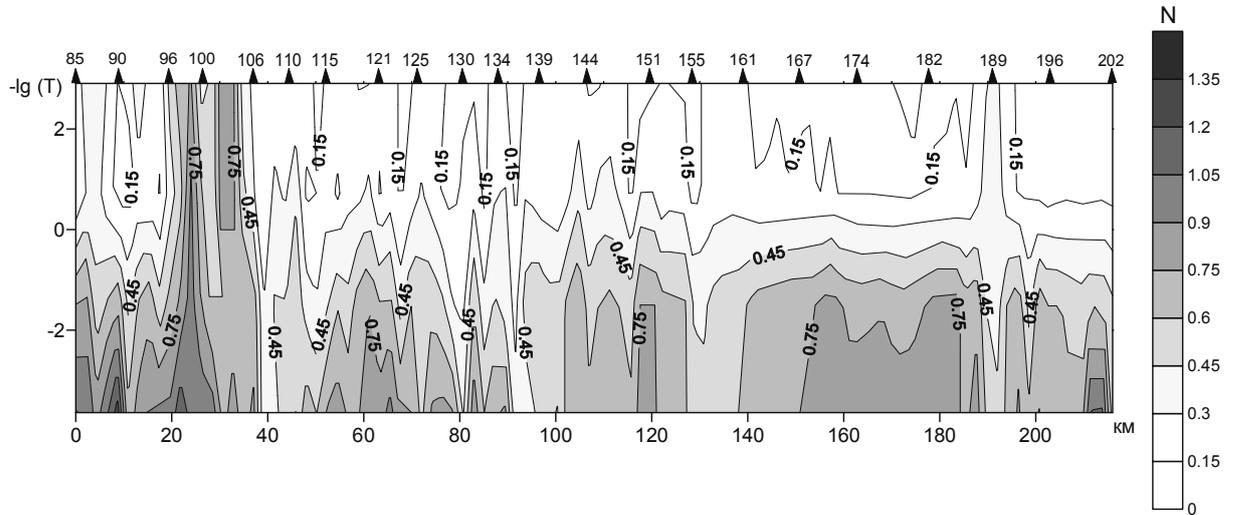


Рис. 3. Пространственно-временной разрез параметра неоднородности.

На рис. 4 показан пространственно-частотный разрез параметра Skews, значения которого на большей части разреза не превышают 0.15. Только на отдельных пунктах МТЗ данный параметр становится близкий к единице.

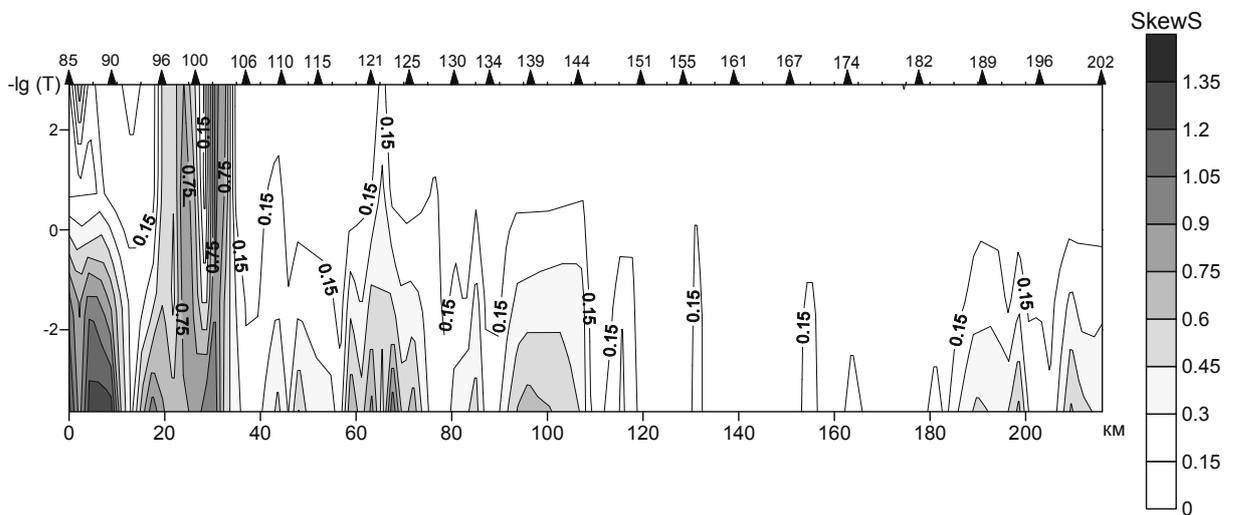


Рис. 4. Пространственно-временной разрез параметра асимметрии.

Выполненный анализ свидетельствует, что в первом приближении геоэлектрическая среда, может быть аппроксимирована двумерно-неоднородной моделью и позволяет разделить кривые зондирования по

направлениям поперек (поперечные) и вдоль (продольные) геологических структур. Это дает нам право решения обратной задачи с помощью двумерного численного моделирования. Для этого использована программа REBOCC [4]. Она имеет возможность выполнять как отдельную, так и совместную (бимодальную) инверсию кривых МТЗ. Бимодальная инверсия позволяет выявить основные особенности геоэлектрической среды, такие как субвертикальные проводящие зоны, а инверсия по продольным кривым дает возможность обнаружить глубинные проводники. Анализ показал, что кривые МТЗ подвержены шифт-эффекту, это хорошо видно на рис. 5, где показаны семейства близко расположенных кривых МТЗ. Кривые кажущегося электрического сопротивления в семействах расходятся по уровню сопротивлений почти на порядок, а фазовые кривые являются близким, что связано с приповерхностными неоднородностями. В программе REBOCC предусмотрена процедура подавление шифт-эффекта.

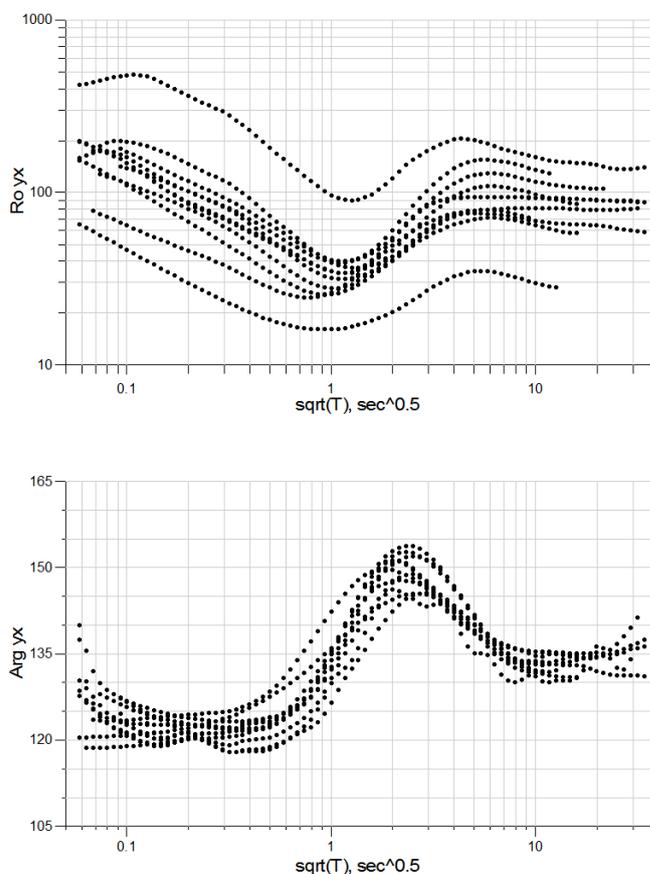


Рис. 5. Семейства близко расположенных кривых МТЗ.

Наряду с шифт-эффектом имеется влияние берегового эффекта, оценки которого выполнены с помощью численного трехмерного моделирования магнитотеллурического поля. Анализ модельных кривых показал, что на периоде 900 с. продольная кривая отклоняется от локально-нормальной кривой на 10-20 % (рис. 6). Это дает возможность с указанной точностью выполнить инверсию кривых МТЗ.

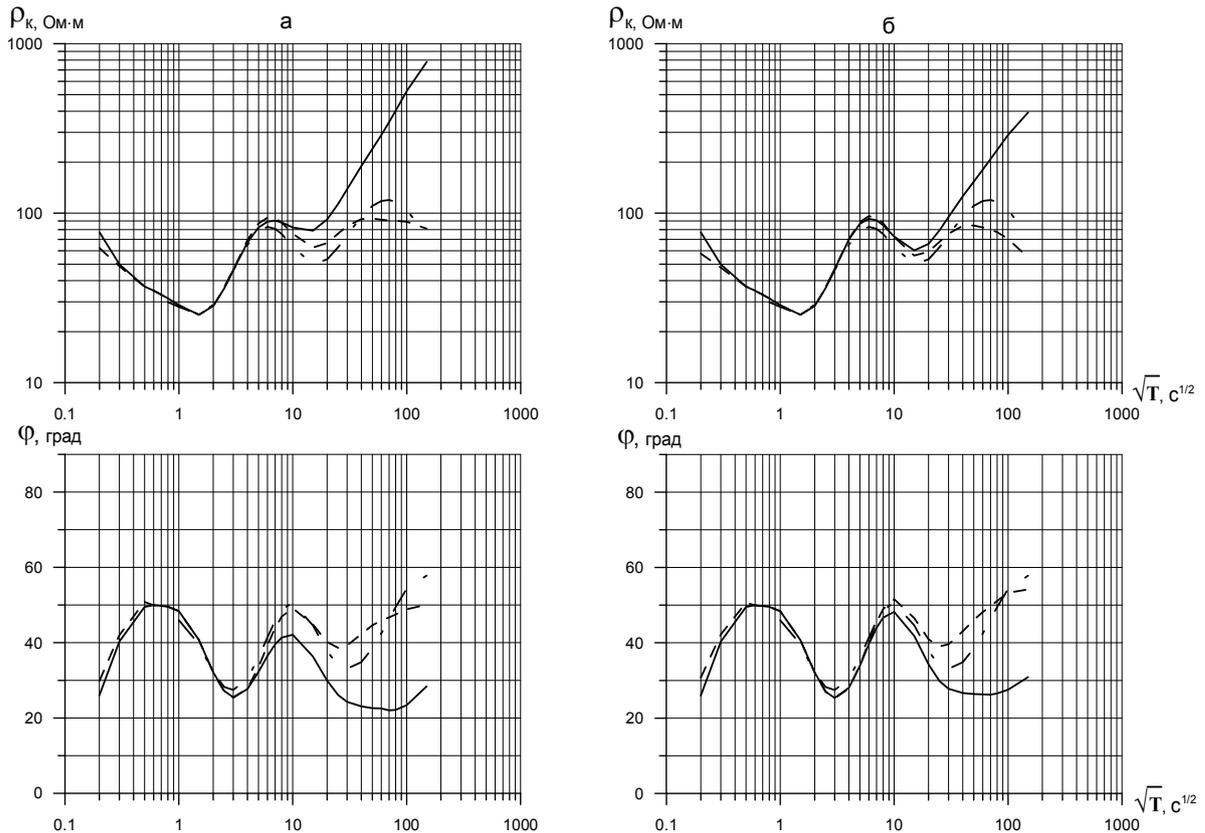


Рис. 6. Модельные кривые для (а) – южной части и (б) – северной части профиля.

Сплошная линия – поперечная, пунктирная – продольная и штрих пунктирная линия – локально-нормальная кривые.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

В результате численного двумерного моделирования МТ данных по профилю с. Апача – с. Мильково (пп. 85-202) получены два геоэлектрических разреза, характеризующие электропроводность земной коры и верхней мантии до глубины 90 км.

На рис. 6 показан разрез, построенный с использованием продольных кривых МТЗ. Продольные кривые обладают повышенной разрешающей

способностью к наличию вытянутых зон повышенной электропроводности, но в меньшей мере подчеркивают наличие субвертикальных зон, которые могут быть связанные с глубинными разломами. Здесь хорошо видно, что сопротивления меняются от тысячи до первых десятков Ом \times м. Контрастно выделяется зона повышенного электрического сопротивления, которая располагается под Срединно-Камчатским выступом и в земной коре под Ганальским выступом.

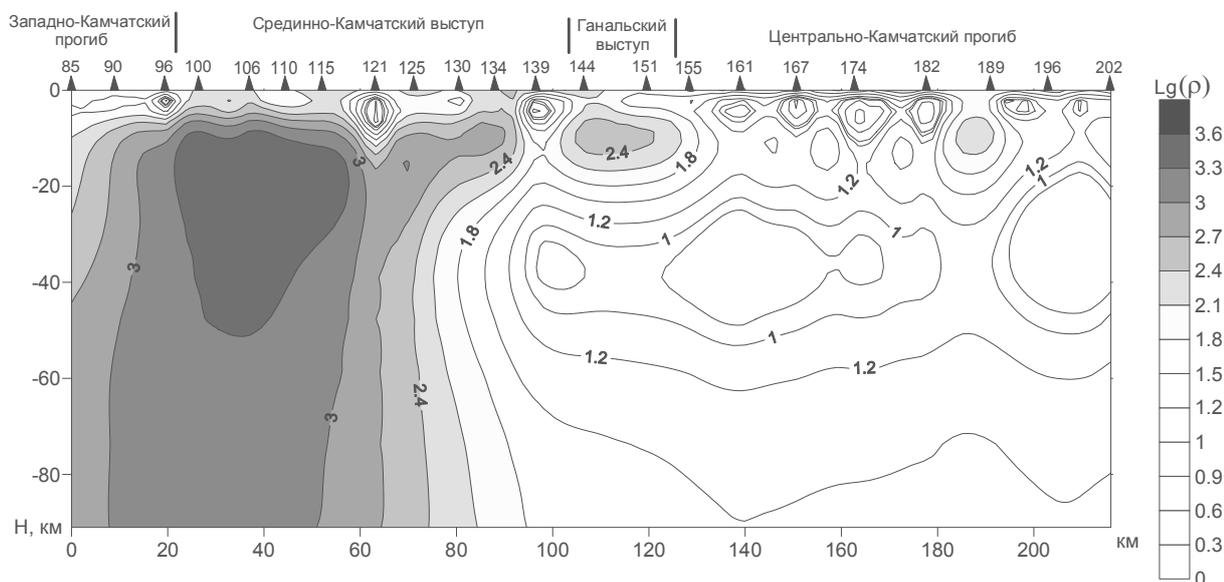


Рис. 7. Геоэлектрический разрез по продольным кривым МТЗ.

В сторону Центрально-Камчатского прогиба мы видим понижение электрического сопротивления в земной коре, где хорошо выделяется проводящий слой на глубинах 30 – 40 км. Это может быть связано с повышенной пористостью и наличием флюидов. Наряду с этим видно, что в верхней части разреза выделяется осадочно-вулканогенный чехол в виде локальных аномалий повышенной электропроводности (пп. 161, 167, 175 и др.).

Для выделения субвертикальных зон использовалась вся имеющаяся информация (продольные, поперечные кривые и кривые МВЗ). В результате данной инверсии (рис. 8) выделены субвертикальные проводящие зоны в пп. 130 и 174 от приповерхностных частей земной коры до глубин 60-80

км, которые на схеме (рис. 9) соответствуют положению поперечных глубинных разломов. Повышенная проводимость разломов может быть связана с повышенной пористостью и наличием гидротермальных растворов.

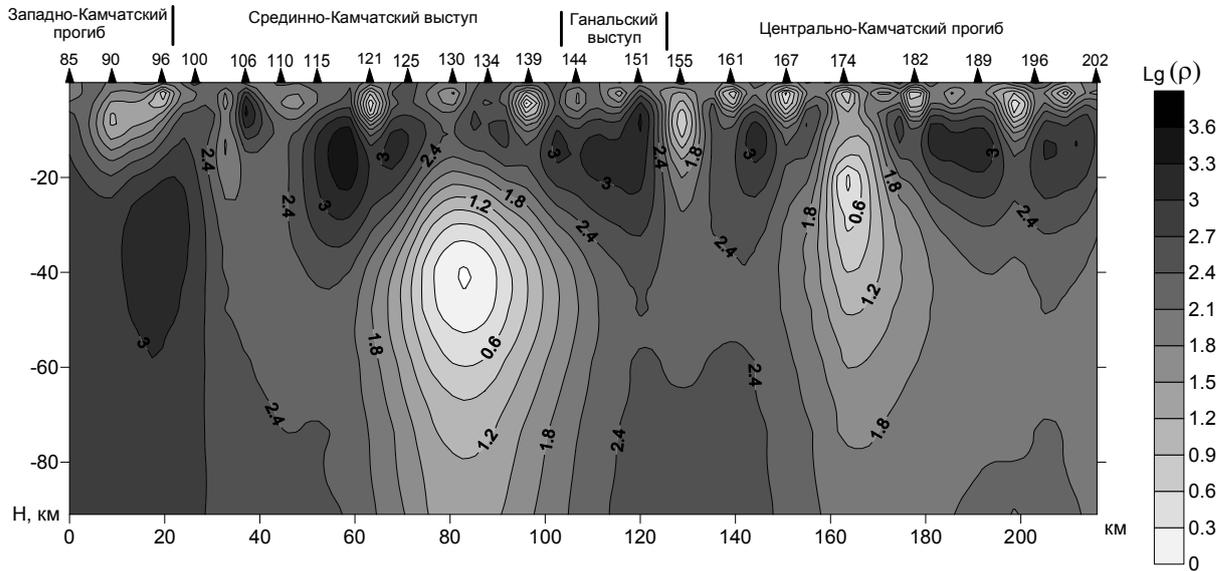


Рис. 8. Геоэлектрический разрез по совместной инверсии кривых МТЗ.

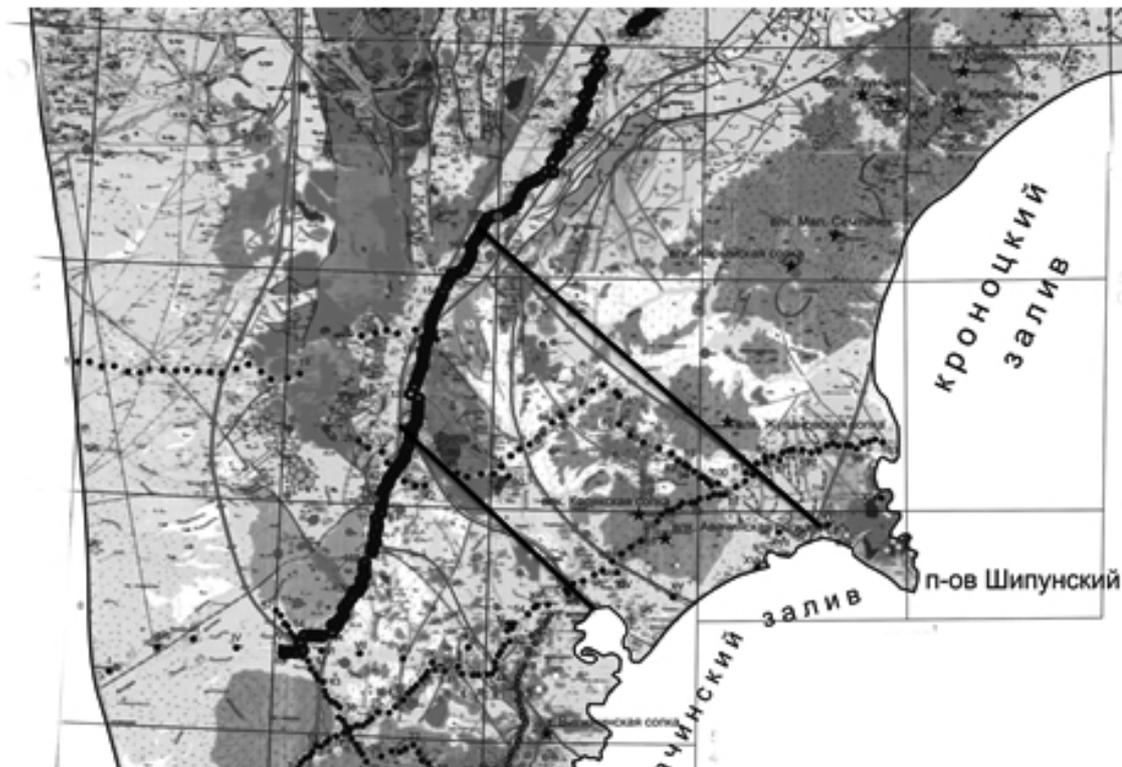


Рис. 9. Схема расположения разломов поперечной дислокации соответствующие субвертикальным проводящим зонам на геоэлектрическом разрезе (см. рис. 1 и 8). Разломы показаны сплошной линией.

Полученный геоэлектрический разрез по продольным кривым сопоставлен с данными сейсмической томографии (рис. 10) [2]. Жирной линией показан слой пониженной скорости продольных волн по данным сейсмотомографии. Изолиниями изображены удельные электрические сопротивления в значениях десятичных логарифмах. Качественно видно, что коровый проводящий слой с удельным электрическим сопротивлением в первые десятки $\text{Ом} \times \text{м}$ на глубине 30-40 км, согласуется с зоной пониженных скоростей по данным сейсмической томографии.

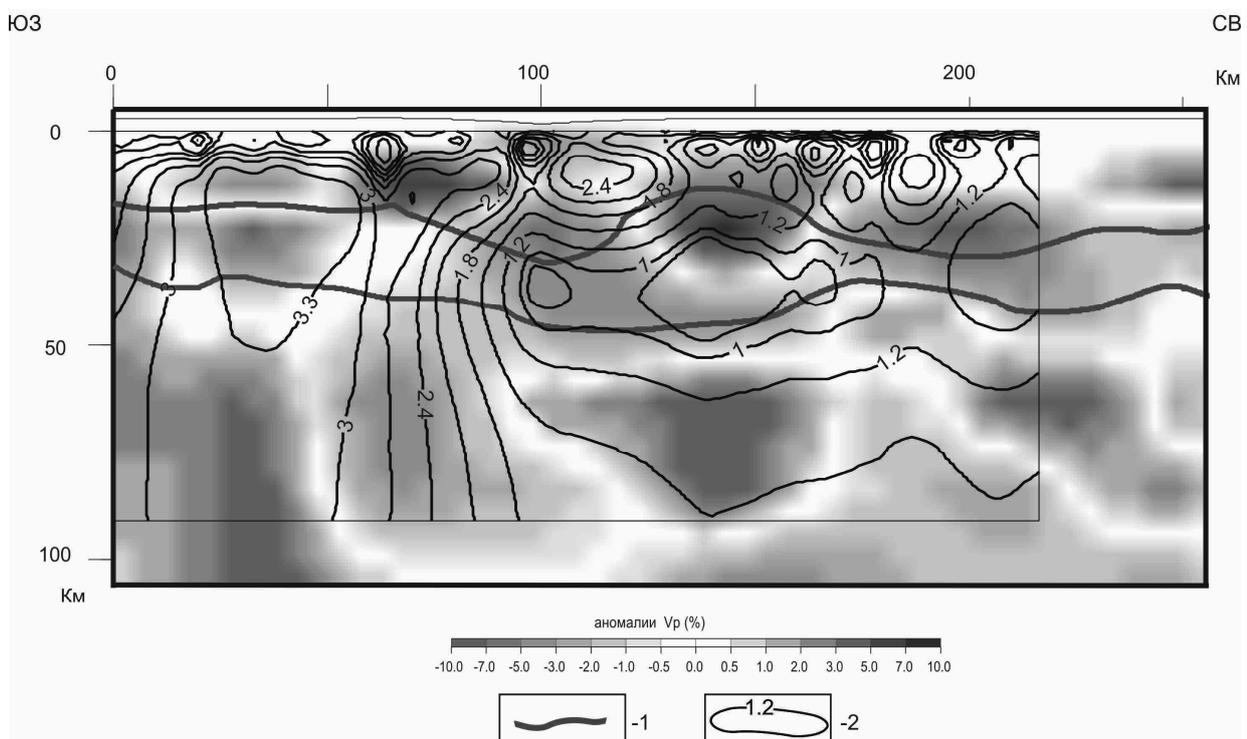


Рис. 10. Изолинии кажущегося электрического сопротивления на скоростном разрезе V_p по данным сейсмотомографии [2].

- 1 - Коровый проводящий слой, выделенный по данным сейсмотомографии.
- 2 - Изолинии кажущегося электрического сопротивления в \lg (см. рис. 7).

Наряду с этим, вертикальная зона высоких градиентов электропроводности отвечает зоне пониженной сейсмической скорости, а блок повышенной электропроводности под Срединно-Камчатским выступом характеризуется повышенными значениями сейсмической скорости.

ВЫВОДЫ

По данным анализа тензора импеданса установлено, что геоэлектрическая среда в первом приближении может быть аппроксимирована двумерно-неоднородной моделью. Моделирование показало, что влияние берегового эффекта на продольные кривые составляет 10-20 %. С этой точностью выполнено численное двумерное моделирование МТ данных и получены геоэлектрические разрезы, по продольным кривым и бимодальной инверсии, характеризующие электропроводность среды до глубины 90 км. По продольным кривым выделен коровый проводящий слой, имеющий качественное отражение на разрезах по данным сейсмической томографии. Бимодальная инверсия кривых позволила выделить субвертикальные проводящие зоны, которые на тектонической карте соответствуют глубинным поперечным разломам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Модели и методы магнитотеллурики. Научный мир. 2009. 677 с.
2. Гонтовая Л.И., Попруженко С.В., Низкоус И.В., Апрельков С.Е. Верхняя мантия Камчатки: глубинная модель и связь с тектоникой// Тихоокеанская геология. Том 27, №2, 2008, с. 80-91
3. Bahr K. Interpretation of magnetotelluric impedance tensor: regional, induction and local telluric distortion. J. Geophysics. 1988. № 62. P. 119-127.
4. Siripunvaraporn W., Egbert G. An efficient data-subspace inversion method for 2-D magnetotelluric data // Geophysics. V. 65. № 3. 2000. P. 791–803.
5. Swift C.M. A magnetotelluric investigation of an electrical conductivity anomaly in the Southwestern United States. Ph. D. Dissertation, M/T. Cambridge. 1967.

ABOUT DEEP CONDUCTIVITY OF SREDINNY MASSIF
IN SOUTH KAMCHATKA

Loginov V.A.

This work presents results of magnetotelluric and magnetovariational data interpretation. Profile crosses Sredinny and Ganalsky ridges and flows out in the Central Kamchatka deflection. Performed analysis of MT data showed that the geological environment could be characterized by two-dimensional heterogeneous model. Inversion curves were performed using the program two-dimensional numerical modeling of REBOCC. The resistivity section, comprising a layer of increased electrical conductivity at a depth of 30-40 km, was obtained on longitudinal curves. Joint inversion of longitudinal, transverse MTS and MVS curves has identified subvertical conductors which are associated with deep faults. Revealed features of deep conductivity are reflected in the seismic tomography data.

Key words: magnetotelluric sounding, geoelectric section, deep fault.