

ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ЗЕМНОЙ КОРЫ ПО ПРОФИЛЮ НИЖНЯЯ ОБЛУКОВИНА – АДРИАНОВКА (КАМЧАТКА)

А.Г. Нурмухамедов

Елизовская геофизическая экспедиция, г. Елизово

Рассмотрены результаты МТЗ по субширотному профилю, пересекающему центральную часть п-ова Камчатка. На основе анализа полярных диаграмм, амплитудных и фазовых кривых по различным направлениям показано, что в районах Центральной Камчатки для изучения верхней части разреза предпочтительно использовать регионально-продольные кривые. Приводится геоэлектрический разрез верхних частей земной коры и дана стратиграфическая привязка выделенных геоэлектрических горизонтов.

Ключевые слова: магнитотеллурическое зондирование, геоэлектрический разрез, Камчатка.

В 1991–92 годах Елизовской геофизической экспедицией (ЕГФЭ) ПГО „Камчатгеологии” был проведен комплекс геофизических работ по региональному профилю посёлок Нижняя Облуковина – гора Адриановка (рис.1). Профиль входит в систему региональных профилей второго класса, пересекающих п-ов Камчатка в субширотном направлении. Основной целью работ является изучение земной коры и верхней мантии сейсмоактивных зон и областей современного вулканизма. Геологическая задача решалась комплексом геофизических методов, в том числе методом магнитотеллурического зондирования (МТЗ). Полевые работы МТЗ осуществлялись с использованием станций ЦЭС-2, с регистрацией 5-и компонент МТ-поля в частотном диапазоне 0,001–10 Гц. В период с 1996 г. по 1998 г. осуществлена обработка и интерпретация материалов МТЗ.

Кроме названных работ, в предшествующие годы проведен большой объём МТЗ к северу от исследуемого профиля в районах Охотской эпимезозойской платформы, Центрально-Камчатского прогиба и в районе Ключевской группы вулканов [3]. Эти работы были направлены как на изучение вулканогенно-осадочного комплекса пород, с целью выделения структур, перспективных на обнаружение углеводородного сырья, так и на изучение земной коры и верхней мантии в области активной вулканической деятельности. Весь этот накопленный опыт был использован и в настоящей работе при интерпретации данных МТЗ.

В предлагаемой статье излагается методика обработки, интерпретации материалов МТЗ, а также результаты изучения верхней части земной коры, а именно, осадочных бассейнов Западной, Цент-

ральной Камчатки и разделяющего их выступа магмаметаморфического комплекса. Для геологической привязки использовались результаты тектонического районирования (рис. 1), представленные в работе [1].

ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ

Первичная обработка полевых материалов осуществлялась по общепринятой методике [2] и заключалась в определении частотных характеристик импедансов и магнитных параметров, описывающих линейные связи между компонентами электромагнитного поля в спектральной области в каждой точке наблюдений. Обработка велась на ЭВМ-1033 по программе „Днепр-88” (Томчаков Л. И., 1988). Для дальнейшей интерпретации материалов был использован комплекс программ „МТ-ЭКРАН-РС”, разработанный коллективом авторов в НИИП „Москомцентр ЭВИТА” ИВТ РАН (Москва), подготовленный для персонального компьютера типа IBM. В виде специально сформированных файлов создавались цифровые массивы частотных зависимостей модуля и аргумента основных и дополнительных импедансов по каждой точке МТЗ. С ними и проводился широкий комплекс интерпретационных работ. Конечным итогом последних явилось построение разновариантных геоэлектрических разрезов, в том числе геоэлектрического разреза верхней части земной коры.

АНАЛИЗ ПЕРВИЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ, ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА КРИВЫХ

Анализ кривых МТЗ по различным направлениям достаточно подробно изложен в ряде публикаций [3, 4, 5] и производственных отчётах (В.В. Ми-

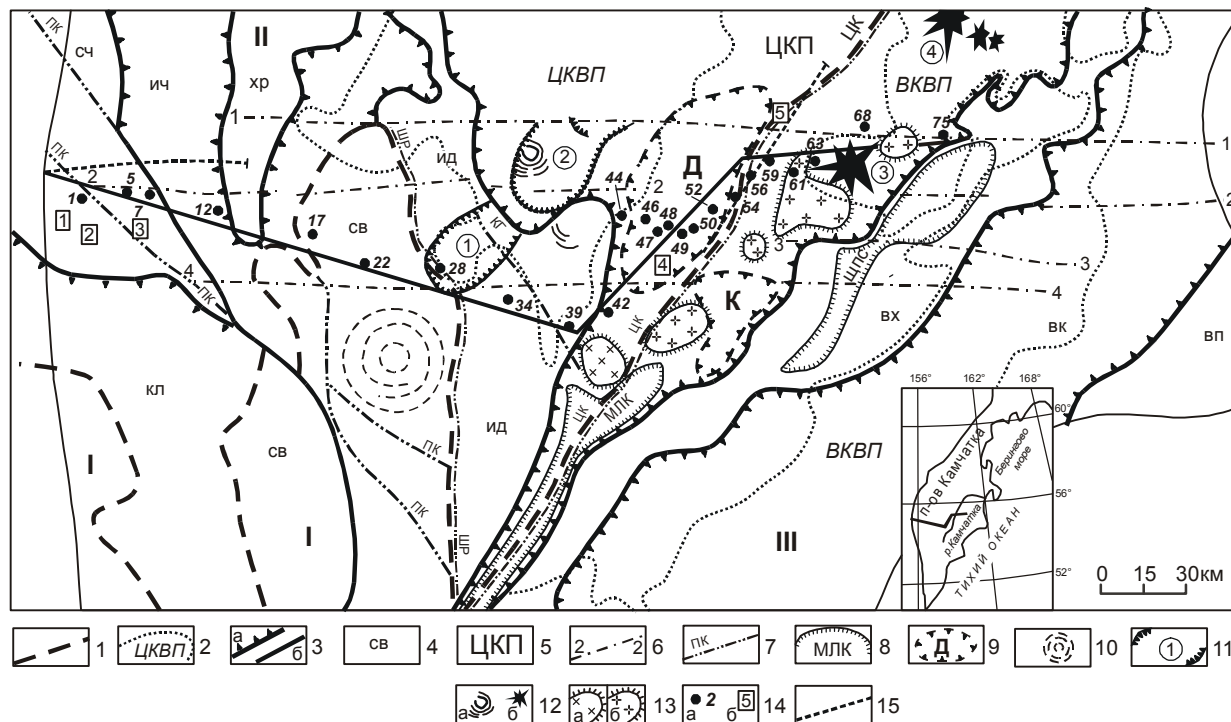


Рис. 1. Схема тектонического районирования (по С.Е.Апрелкову и О.Н.Ольшанской).

1 – границы Охотской платформы и складчатых зон (I – Охотская платформа, II – Западно-Камчатская складчатая зона, III – Восточно-Камчатская складчатая зона); 2 – границы вулканических поясов и их названия (ЦКВП – Центрально-Камчатский, ВКВП – Восточно-Камчатский); 3 – границы антиклинориев, синклинориев и блоков (а – “нормальные”, б – по разломам); 4 – названия структур: СВ – Срединный выступ основания, СЧ – Саицкий антиклинорий, ИЧ – Ичинский синклинорий, ХР – Хайрюзовский антиклинорий, КЛ – Колпаковский синклинорий, ИД – Ирунейская дуга, ВХ – горст-антиклинорий Восточных хребтов, ВП – горст-антиклинорий Восточных полуостровов, ВК – Восточно-Камчатский синклинорий; 5 – Центрально-Камчатский межгорный прогиб; 6 – транскамчатские широтные разломы (1–1 – Лаучанско-Адриановский, 2–2 – Ичинский, 3–3 – Кизиминский, 4–4 – Облуковинский); 7 – региональные разломы других направлений и их названия (ЦК – Центрально-Камчатский, ШР – Шаромский, КГ – Кирганикский, ПК – Петропавловско-Крутогоровский); 8 – новейшие грабены и их названия (ЩПС – Щапинский, МЛК – Мильковско-Быстринский); 9 – впадины ЦКП и их названия (Д – Долиновская, К – Китильгинская); 10 – Хангарский гранито-гнейсовый купол; 11 – вулканотектонические структуры (1 – Кирганикская, 2 – Кимитинская); 12 – щитовые и щитовидные вулканы (а) и стратовулканы (б) (3 – Николка, 4 – Толбачик); 13 – погребенные интрузии (а – основного – среднего состава, б – основного – ультраосновного состава); 14 – точки МТЗ вдоль профиля и их номера (а), пробуренные скважины (б): 1 – Схикийская-1, 2 – Усть-Облуковинская-1, 3 – Крутогоровская-1, 4 – Долиновская-2, 5 – Безводная-1; 15 – Профили КМПВ.

шин, А.Г. Нурмухамедов и др., 1994, 1996, 1998). Выводы и рекомендации в упомянутых работах по многим позициям сходны и отражают особенности исследований земной коры и верхней мантии в условиях Камчатки. Поэтому осветим лишь кратко особенности первичных данных МТЗ по профилю п. Ниж. Облуковина – г. Адриановка, характерные для центральных районов Камчатки.

На рис. 2А представлены наиболее характерные полярные диаграммы, полученные в различных геологических структурах (рис. 1), пересекаемых профилем. На периоде $T=25$ с выделяются эллипсоидные полярные диаграммы и диаграммы с

незначительным сжатием. С увеличением же периода ($T = 86; 1000$ с) заметно всё большее сжатие эллипсов основного импеданса. Диаграммы дополнительного импеданса часто имеют форму четырёх симметричных лепестков. Оси овалов основных импедансов при этом совпадают с минимальными значениями дополнительных. Такая закономерность отражает преобладание в районе работ структур с линейной тектоникой.

Азимуты осей полярных диаграмм в большинстве точек МТЗ с увеличением периода изменяются незначительно. Там же, где эти расхождения есть, они составляют 10° – 25° , т. е. отклонения находятся в

пределах точности их определения. В подавляющем большинстве точек, на разных периодах (25–1000 с) азимут одного из главных направлений полярных диаграмм близок или совпадает с генеральным простираем основных структур региона и в среднем составляет 30° – 35° .

Итак, анализ показывает, что главные направления полярных диаграмм в большинстве случаев совпадают с их максимальными и минимальными осями. Поэтому, более наглядное представление о величине и направлении больших осей полярных диаграмм основного импеданса может дать расчёт экстремумов (Z_{\max}) этих диаграмм [2]. На рис. 2Б экстремумы Z_{\max} представлены по всему профилю. Построены они на периоде 25 с и их направление привязано к географической системе координат. Из рисунка видно, что выделяется два основных направления Z_{\max} , это $30^\circ(\pm 12^\circ)$ и $120^\circ(\pm 12^\circ)$, разница между азимутами составляет 90° . В большинстве же точек профиля на всех периодах отмечено их близкое направление ($\sim 30^\circ$), совпадающее с генеральным простираем региональных структур.

Для изучения земной коры и верхней мантии использованы те амплитудные и фазовые кривые, которые построены по главным направлениям полярных диаграмм основного импеданса. Эти направления ($\sim 30^\circ$) в основном совпадают с генеральным простираем региональных структур. По отношению к главным геологическим структурам региона такие кривые являются регионально-продольными (в дальнейшем – продольными). При этом кривые, выбранные по другому главному направлению – 300° , назовём регионально-поперечными (в дальнейшем – поперечными). В ряде публикаций [3, 4 и др.] показано, что продольные кривые, в отличие от поперечных, в наименьшей степени подвержены искажающему влиянию регионального индукционного эффекта. Они лучше отражают строение земной коры и верхней мантии, увереннее фиксируют коровые проводящие объекты.

В районе работ присутствуют структуры более мелкого порядка, имеющие северо-западное простираем ($\sim 300^\circ$). Для них регионально-продольные кривые одновременно являются и локально-поперечными. Эти кривые, в основном, и использовались при изучении верхней части разреза, в том числе осадочных бассейнов.

Так как установка полевых датчиков МТ-поля выполнялась по азимутам $120^\circ(X)$ и $30^\circ(Y)$, то полученные по этим направлениям кривые ρ_{xy}^\perp и ρ_{xy}^\parallel являются соответственно регионально-поперечными (поперечными) и регионально-продольными (продольными).

ХАРАКТЕРИСТИКА КРИВЫХ МТЗ

Геологическое истолкование материалов МТЗ осуществлялось по трём фрагментам профиля, совпадающим с тремя генерализованными линиями разреза (рис. 1 и 3А), а именно: по западному фрагменту (0–185 км профиля), центральному (185–265 км) и восточному (265–335 км). Применительно к этому делению и будет произведен анализ кривых. Для удобства их сопоставления с геологическими структурами вдоль генерализованных линий вынесены некоторые точки зондирования. Полностью же точки МТЗ вынесены на разрезе на рис. 3А.

На рис. 4 представлены все продольные и поперечные кривые, собранные в семейства по принципу конформности. Разнообразие форм и уровней кривых отражает сложный характер распределения электропроводности по профилю.

В западном фрагменте профиля продольные кривые имеют форму типа Н, НК, НКН и реже К и КН. Форма поперечных кривых отличается от продольных, но их типы всё те же: Н, НКН, КН. Большинство кривых в своей левой части имеют чётко выраженный минимум, указывающий на наличие в разрезе мощного осадочного комплекса пород (МТЗ №№ 1–10). Смещение минимума от точки к точке в сторону высоких частот указывает на его постепенное выклинивание в восточном направлении (МТЗ №№ 1–16).

Начиная с точки № 17 и далее на восток по профилю, в правой низкочастотной области кривых формируется нисходящая ветвь, указывающая на наличие проводящего объекта в нижней части разреза.

Анализ полярных диаграмм, сопоставление форм и уровней кривых показывают на преимущественно квазидвумерный характер геоэлектрической среды в западном фрагменте профля. Между тем, в восточной части профиля в соотношении форм продольных и поперечных кривых просматриваются признаки трёхмерности среды.

Центральный фрагмент профиля характерен выдержанностью форм кривых (рис. 4). Здесь как продольные, так и поперечные кривые, в основном, относятся к типу НК. Нетрудно отметить, что практически на всех кривых, но в большей степени на поперечных, фиксируется смещение правых ветвей вниз. С одной стороны, соотношение продольных и поперечных кривых в ряде точек МТЗ напоминает присутствие здесь краевого эффекта [7]. Действительно, из рис. 5А видно, что в точках №№ 46–50 для поперечных кривых (в сравнении с продольными) наблюдается довольно контрастное смещение вниз правых ветвей. Смещение тем больше, чем ближе пункт наблюдения расположен к центральной части

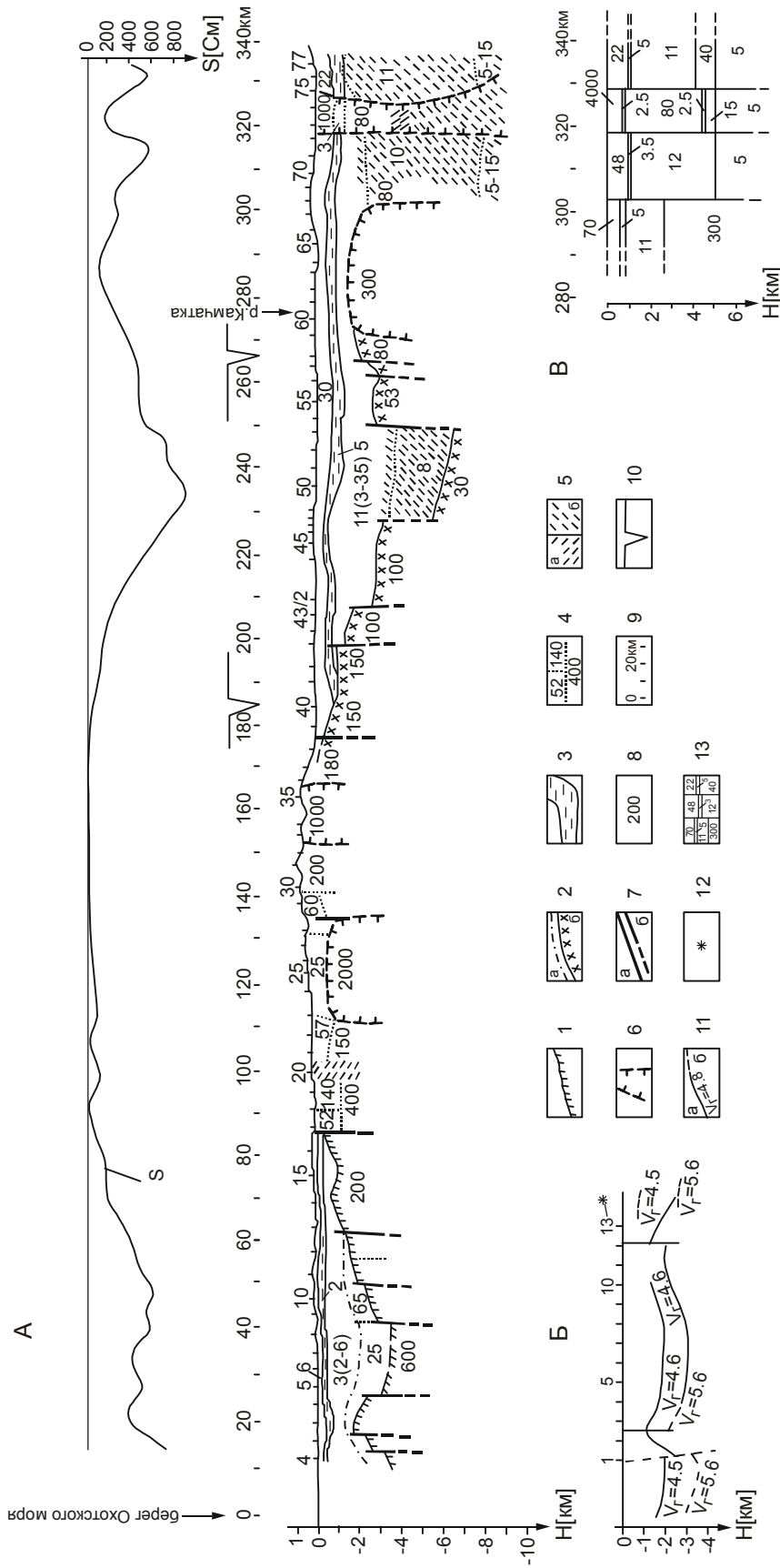


Рис. 3. А – Геоэлектрический разрез верхней части земной коры по профилю пос. Ниж.Облуковина – г.Адриановка. Б – Сейсмический разрез по профилю КМПВ (Ичинский). В – Результаты двумерного численного моделирования в восточной части профиля (290÷340 км профиля).

1 – опорный геоэлектрический горизонт, ассоциирующийся с кровлей верхнемелового комплекса Ичинского прогиба; 2 – геоэлектрические границы, ассоциирующие: а) с кровлей отложений тигильской серии (палеоген) Ичинского прогиба, б) с кровлей верхнемелового фундамента Центрально-Камчатского прогиба; 3 – низкоомный геоэлектрический горизонт, выделяемый в толще неогеновых отложений; 4 – прочие геоэлектрические границы, разделяющие участки различного сопротивления; 5 – зоны: а) anomalно низкого сопротивления (1-3 Ом·м); б) низкого сопротивления (4-26 Ом·м); 6 – контуры высокоомных тел, ассоциирующих с интрузивными образованиями; 7 – разломы; 8 – средне значение сопротивления (Ом·м); 9 – разметка профиля в километрах; 10 – точки изгиба линии разреза профиля; 11 – сейсмические границы и значения КМПВ: а) уверенные; б) предполагаемые и значения граничных скоростей; 12 – пикеты на профиле КМПВ обозначают проекцию точек МТЗ на сейсмический профиль; 13 – блоки различного сопротивления (Ом·м), выделенные в разрезе по результатам двумерного численного моделирования.

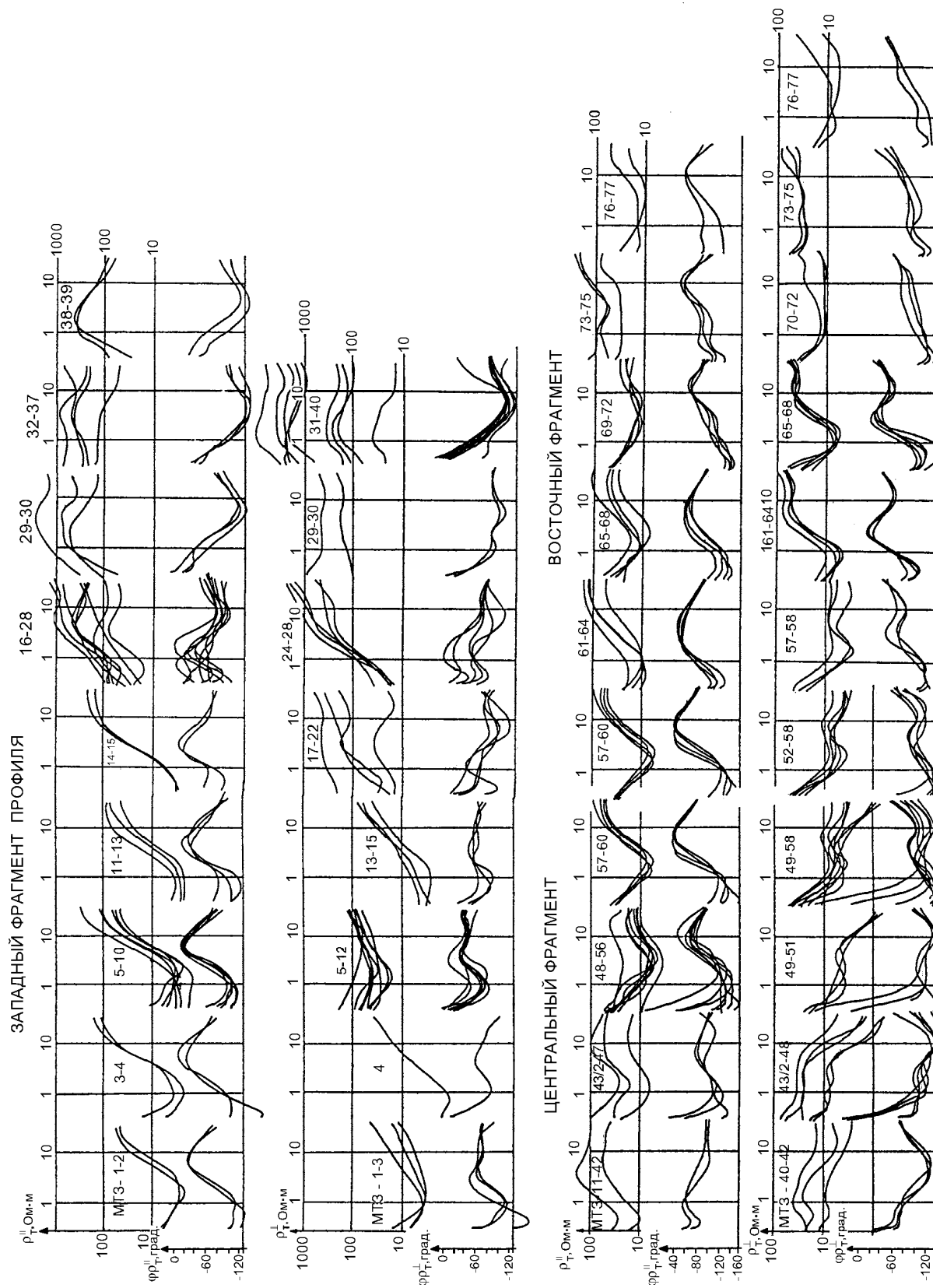


Рис. 4. Семейства продольных и поперечных кривых МТЗ.

впадины. Отмечается рост отношения $\rho_{yx}^{\parallel} / \rho_{xy}^{\perp}$ в прибортовой части впадины (МТЗ №№ 47, 48) и его уменьшение (МТЗ №№ 61, 63) при выходе из неё. Устойчивой линейной поляризации низкочастотного электрического поля, характерной для этого эффекта, здесь не зафиксировано, но отмечается квазилинейная поляризация. С другой стороны, в районе Долиновской впадины, в пределах 230–250 км профиля, фиксируется максимальная проводимость (рис. 3А) вулканогенно-осадочного комплекса (до 900 См). Вероятнее всего, здесь амплитудные кривые искажены S-эффектом [3]. Эффект приводит к конформному смещению правых ветвей поперечных кривых: вверх при уменьшении суммарной продольной проводимости верхнего горизонта и вниз – при её увеличении. При формальной интерпретации таких кривых можно существенно занижить глубины до кровли корового проводника. На рис. 4 видно, что на большинстве продольных кривых в левой части выделяются минимумы, указывающие на наличие в разрезе мощного осадочного комплекса, а нисходящие ветви могут быть связаны с коровым проводником. Эти кривые в дальнейшем использованы для изучения геоэлектрического разреза.

В восточном фрагменте профиля в интервале точек №№ 58–69 (265–305 км) продольные кривые имеют форму Н, НК. К типу НК можно было бы отнести и поперечные кривые (рис. 4), но в их правой низкочастотной области после восходящего фрагмента довольно уверенно проявляется перегиб, указывая на тип кривой, как НКН. Остановимся на этом подробнее.

В данном районе по результатам гравиметрической съёмки [1] выделены субширотные (~100°) разломы (Лаучанско-Адриановский, Ичинский и др.). Сочетание этих разломов с региональными структурами северо-восточного направления создаёт сложный тектонический рисунок. На этом участке профиля кривые ρ_{xy}^{\perp} , классифицированные нами как регионально-поперечные, одновременно несут в себе некоторые признаки продольных кривых. То есть, проявляется элемент трёхмерности среды. Здесь, в условиях выступа высокоомного основания (рис. 3А, 275–305 км профиля) в низкочастотной области кривых проявляется минимум (рис. 4, кривые 57–68). При формальной интерпретации можно выделить ложный проводящий слой, или, в случае с анализируемыми кривыми, существенно занижить глубины до кровли проводящего корового объекта. Вероятно, это искажение можно отнести к разряду локальных индукционных эффектов, которые возникают под влиянием соседних впадин [7]. Можно также отметить, что все характерные изгибы в амплитудных

кривых весьма уверенно повторяются и в соответствующих фазовых кривых.

В интервале точек №№ 69–77 (305–340 км профиля) фиксируются весьма сложные по своей форме кривые МТЗ. На первый взгляд, продольные и поперечные амплитудные кривые близки по форме, и большинство из них по типу можно отнести к НКНК(?). Но уже на периодах больше 200–400 с в продольных кривых (в отличие от поперечных) намечается выполаживание и образование максимума. Также уверенно эти особенности проявляются и в форме продольных фазовых кривых $\Phi\rho_{yx}^{\parallel}$. Здесь после максимума уверенно фиксируется нисходящая ветвь, указывающая на наличие корового проводящего объекта. В форме же поперечных кривых $\Phi\rho_{xy}^{\perp}$ этого не наблюдается. В какой-то степени, это ещё раз подтверждает правильность классификации кривых в восточной оконечности профиля. В целом, судя по кривым, геоэлектрический разрез характеризуется как аномально низкоомный. Мощность скин-слоя [2] в широком спектре периодов незначительна и глубинность МТ-зондирования здесь будет ограничена максимум 20–30-ю километрами. Весьма вероятно, что амплитудные кривые в точках №№ 69–77 (305–340 км профиля) подвержены влиянию гальванического эффекта. Контрастное низкоомное включение в разрезе способствует возникновению эффекта концентрации тока. Поэтому амплитудные кривые, полученные над такими объектами, сильно искажены и при формальной их интерпретации глубины до кровли корового проводника могут быть существенно занижены.

К сожалению, осуществить более углублённый анализ кривых в аномально низкоомном участке не представляется возможным, так как профиль не вышел за его пределы. Мы не имеем завершённой двумерной картины анализируемого объекта и его обрамления.

В работах [3–5] и производственных отчётах (В.В. Мишин, А.Г. Нурмухамедов, 1994, 1996, 1998) подробно проанализировано влияние регионально-индукционного (берегового) эффекта на результаты МТЗ. Это влияние сказывается на форме поперечных и, в меньшей степени, продольных кривых в их низкочастотной области. Воздействие эффекта зависит от степени удалённости точек наблюдения от береговой линии океана (<50 км). Мощный индукционный эффект со стороны Тихого океана не повлиял на результаты работ МТЗ, так как район исследований расположен на расстоянии 90 км и более от его береговой линии. Существует береговой эффект и со стороны относительно неглубокого Охотского моря, но его влияние на результаты МТЗ не столь значительно [3]. В работе [5] показано, что наличие в разрезе проводящего горизонта существенно уменьшает

береговой эффект и сужает зону его действия. По результатам двумерного моделирования этот горизонт уверенно фиксируется в центральной части профиля (95–125 км) и имеет распространение далее на восток (В.В. Мишин, А.Г. Нурмухамедов, 1998).

Кроме ряда указанных выше эффектов в исследуемом районе имеют место и другие искажающие факторы. Их проявление связано с приповерхностными латеральными неоднородностями (интрузивными телами, зонами разломов и др.), что влечёт за собой изменение уровня и формы кривых [3]. Все эти факторы были учтены при интерпретации материалов.

ПОСТРОЕНИЕ И АНАЛИЗ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА

По кривым МТЗ не всегда удаётся получить полную информацию по вулканогенно-осадочному комплексу пород. Это обусловлено техническими возможностями станции ЦЭС-2, регистрирующей МТ-поле, начиная с частоты 10 Гц и ниже. То есть, самая верхняя часть разреза часто остаётся неизученной. Исследуемый же профиль на всём своём протяжении пересекает значительные по площади и по мощности отложений осадочные бассейны. По данным бурения и сейсморазведки (рис. 3Б и 5Б) мощность вулканогенно-осадочного комплекса достигает 2–3 км, а местами и более. Для её оценки по всему региональному профилю использовались известные в электроразведке приёмы [2]. Но, кроме этого, предпринята попытка расчленения осадочного комплекса на отдельные геоэлектрические горизонты различного сопротивления. При этом использовалась методика количественной одномерной S-интерпретации кривых МТЗ. В процессе прослеживания горизонтов учитывалась дополнительная информация по скважинам: Схикийской-1, Крутогоровской-1, Усть-Облуковинской-1 (Авдеев А.С., Коротеева Л.М., 1979; Гома Л.М., 1988) – в западной части профиля и Долиновской-2 (Никишкин А.И., Козьянина Л.П., 1986), Безводной-1 (Свистунов Е.П., 1988) – в центральной. Расположение скважин представлено на рис. 1. Данные скважины нельзя считать параметрическими для МТЗ ввиду их значительного удаления (9–20 км) от ближайших точек зондирования. Тем не менее, в качестве примера на рисунке 5Б представлены кривые S(H), рассчитанные по данным каротажа КС (скв. Схикийская-1, Долиновская-2), и для сравнения – аналогичные кривые, полученные в ближайших от скважин точках МТЗ 1 и 44. Здесь видно, что кривые, рассчитанные по разным данным довольно близки по форме и, в целом, отражают единую динамику изменения сопротивления с глубиной. В верхней же части разреза (1–1,5 км) кривые S(H) отличаются в большей степени. Объяснить это можно ря-

дом факторов, в том числе различной степенью обводнённости пород на указанных глубинах, их фациальными изменениями по латерали, выклиниванием низкоомных горизонтов к краям осадочных бассейнов. Динамика изменения проводимости с глубиной по остальным скважинам в целом остаётся такой же.

При выделении тектонических нарушений (разломов) принималось во внимание соотношение продольных и поперечных кривых МТЗ: их форма и уровень, наличие в разрезе контрастных перепадов глубин до кровли опорного высокоомного горизонта. Выделенные в разрезе разломы, как правило, совпадают с тектоническими нарушениями, выделенными по результатам гравиметрической съёмки [1].

Анализируя геоэлектрический разрез по группе скважин (Схикийская-1; Усть-Облуковинская-1; Крутогоровская-1) в западной части профиля отметим, что относительно высоким сопротивлением (20–180 Ом·м) характеризуется самая верхняя часть (40–300 м) неогеновых отложений, минимальным (первые единицы Ом·м) – неогеновые отложения кавранской серии. Незначительное увеличение сопротивления (7–9 Ом·м) фиксируется в нерасчленённых палеоген-неогеновых отложениях воямпольской серии. Скачок сопротивления (50–85 Ом·м) наблюдается в палеогеновых отложениях тигильской серии.

В центральной части профиля по данным двух скважин (Долиновская-2; Безводная-1) в верхней части разреза выделяется относительно высокоомная толща (90–190 Ом·м) четвертичных отложений. Ниже залегают низкоомные неогеновые отложения кавранской серии (2–5 Ом·м). Увеличение сопротивления до 12–40 Ом·м (скв. Долиновская-2) фиксируется в толще палеогеновых [1] отложений долиновской серии. Нерасчленённые палеоген-неогеновые отложения анавгайской и воямпольской серий (3 Ом·м, скв. Безводная-1) практически не отличаются по уровню сопротивления от пород кавранской серии.

По результатам работ КМПВ по Ичинскому профилю был построен геолого-геофизический разрез (Смирнов Л.М., Березин М.А., 1968). Его западный фрагмент в упрощённом виде представлен на рис. 3Б. Здесь сейсмическая граница с граничной скоростью 5.6 км/с отождествляется с кровлей верхнемелового фундамента. Граница с $V_r=4.5-4.6$ км/с выделена в верхней предкровельной части отложений тигильской серии. Геофизические профили расположены друг от друга на расстоянии 10–25 км (рис. 1). Сопоставление разрезов показывает удовлетворительную качественную сходимость в рисовке основных опорных горизонтов, в частности – в выделении верхнемелового основания и кровли палеогеновых отложений.

Таким образом, на основании данных МТЗ, при использовании информации по 5-и скважинам и сейсморазведке КМПВ, был построен геоэлектрический разрез (рис. 3А).

Сложным строением характеризуется разрез в центральном фрагменте профиля. В районе Долиновской впадины глубина до кровли палеогеновых отложений по данным скв. Долиновская-2 и скв. Безводная-1 составляет соответственно 1100 и 1200 м. Опираясь на эти данные, можно предположить, что применительно к геоэлектрическому разрезу кровля палеогеновых отложений должна совпадать с подошвой ($h=800-1300$ м) низкоомного (5 Ом·м) горизонта (рис. 3А, 190–330 км профиля). Сопротивление нижележащего горизонта сопоставимо по своему значению с сопротивлением долиновской серии (12–40 Ом·м) в скв. Долиновская-2 и анавайской, воямпольской серий (3 Ом·м) в скв. Безводная-1. Это даёт основание отождествлять данный геоэлектрический горизонт с палеогеновой толщей пород. Тогда нижележащую геоэлектрическую границу можно принять за кровлю верхнемелового фундамента, сопротивление которого составляет 100–150 Ом·м. В интервале глубин 4–6 км (225–250 км профиля) фиксируется зона низкого сопротивления. Можно предложить два варианта её истолкования. Первый: низкоомная зона представляет самую нижнюю часть палеогеновой толщи, и её пониженное сопротивление (8 Ом·м) можно объяснить определённой степенью минерализации водных растворов. Кровля верхнемелового фундамента при этом находится на глубине ~6 км. Второй вариант: низкоомное образование относится к катаклазированной верхней части верхнемелового фундамента. В этом случае глубина до кровли фундамента составит только ~3.5 км. Подобная ситуация отмечена в Авачинском грабене (Нурмухамедов А.Г., Желтухин А.С., 1992) на юго-востоке Камчатки. В пользу же первого варианта говорят данные сейсморазведки КМПВ (Горбадей Э.Ф., Матвеев А.Д., 1978). Сейсмопрофиль отработан к востоку от Долиновской впадины (рис. 1). На глубине 5 км выделена протяжённая сейсмическая граница с $V_r=5.2-5.6$ км/с, которую можно отождествить с кровлей верхнемелового фундамента. По глубине она довольно близка самой нижней (~6 км) геоэлектрической границе.

Геоэлектрический разрез в восточном окончании профиля (300–340 км) характеризуется весьма сложной картиной распределения электропроводности. Расположение последних по профилю точек МТЗ в плане совпадает с северо-западной границей Щапинского грабена (рис. 1). В целом, геоэлектрический разрез в этом месте можно охарактеризовать как аномально низкоомный, и выделение геоэлектрических границ здесь затруднительно. Тем не менее,

выделено несколько границ, разделяющих горизонты с близкими значениями сопротивления. Незначительное повышение сопротивления до 8-20 Ом·м (330–340 км профиля) наблюдается на глубине 1–1.3 км. Дать уверенную стратиграфическую привязку этому горизонту только по данным МТЗ затруднительно.

По всему исследуемому профилю было проведено двумерное численное моделирование. На рис. 3В представлен фрагмент этой модели в районе 300–340 км профиля. Её глубинная часть ещё требует критического осмысления, но верхняя (до ~4 км) во многом совпадает с результатами одномерной S-интерпретации. Здесь на фоне низкоомной зоны уверенно фиксируется относительно высокоомное субвертикальное образование. В верхней её части сопротивление составляет не менее 1000 Ом·м, ниже – 80 Ом·м. Это напоминает интрузию основного – ультраосновного состава [1] в ослабленной зоне. Возможно, здесь не исключена гидротермальная активность, так как сравнительно недалеко, в 15–20 км от описываемого участка, расположен вулкан Николка. Поэтому пониженное сопротивление в глубинной части интрузии можно объяснить её повышенной трещиноватостью и заполнением трещин минерализованными термальными водами. Да и низкоомный фон (8–11 Ом·м), вероятно, объясняется этими же причинами. К сожалению, дать более углублённый анализ этому участку не представляется возможным, так как профиль не вышел за его пределы, и мы не имеем информации о его восточных границах.

ВЫВОДЫ

На протяжении всего профиля многие кривые МТЗ, в большей или меньшей степени, подвержены влиянию искажающих эффектов. Наименьшему их влиянию подвержены регионально-продольные кривые. Они положены в основу при изучении геоэлектрического разреза. В целом же разрез представляется в таком виде:

В Западно-Камчатской складчатой зоне (0–85 км профиля) самая нижняя граница ассоциирует с кровлей верхнемелового комплекса. Сопротивление его составляет 200–600 Ом·м. Глубина до кровли колеблется в пределах 1–3.5 км. Наиболее погруженный его фрагмент в плане совпадает с осевой частью Ичинского прогиба. Вышележащая граница ассоциирует с кровлей палеогеновых отложений тигильской серии. Глубина до кровли колеблется в пределах 1.4–2 км. Мощность горизонта составляет 0.6–1.4 км, сопротивление – 10–100 Ом·м. Третий снизу геоэлектрический горизонт, по-видимому, можно отнести к палеоген–неогеновой (нерасчленённой?) толще воямпольской серии. Мощность его колеблется в пределах 0.5–1.6 км, среднее сопротивление составляет 3 Ом·м. Верхние два горизонта ассо-

цируют с неогеновыми отложениями кавранской серии. Общая их мощность колеблется в пределах 0.4–0.7 км. Сопротивление верхнего горизонта в среднем составляет 6 Ом·м, нижнего, вероятно более обводнённого, – 2 Ом·м.

В центральной части профиля (85–180 км) в разрезе не зафиксировано выдержанных по латерали, однородных по сопротивлению геоэлектрических горизонтов. На фоне относительно низкоомных фрагментов контрастно выделяются два фрагмента высокого сопротивления – 2000 и 1100 Ом·м. Они, очевидно, отражают гранитоидные интрузивные образования Срединного выступа Охотской платформы и восточной части Западно-Камчатской складчатой зоны. В целом же, такая мозаичная картина распределения электропроводности характерна для упомянутых структур. Она отражает степень метаморфизма средне-верхнепалеозойского и верхнемелового комплексов пород, а также наличие в них интрузий.

В районе Долиновской впадины Центрально-Камчатского прогиба (200–270 км профиля) самая нижняя геоэлектрическая граница отождествляется с кровлей верхнемелового комплекса (100 Ом·м). Её уровень по системе разломов погружается и ближе к центральной части впадины достигает глубины 5.5–6.5 км. Вышележащая граница (0.8–1.3 км) отождествляется с кровлей палеогеновых отложений. Их мощность меняется в пределах от 0.6–0.8 км до 5(?) км в центральной части впадины. Среднее сопротивление горизонта составляет 11 Ом·м. Третий снизу геоэлектрический горизонт связывается с неогеновыми отложениями. Мощность его составляет 0.3–0.5 км, сопротивление в среднем – 5 Ом·м. Самый верхний горизонт отождествляется с четвертичными отложениями. Его мощность составляет 0.5–0.8 км, сопротивление в среднем – 30 Ом·м.

В восточной части профиля к кровле верхнемелового комплекса предварительно можно отнести геоэлектрическую границу, выделенную на глубине 2–2.5 км (300–320 км профиля) и 1 км (320–340 км). В центральной части ослабленной низкоомной зоны выделяется субвертикальное тело предположительно интрузии ультраосновного состава.

Автор выражает искреннюю благодарность доктору геолого-минералогических наук Ю.Ф. Морозу за ряд практических советов по анализу материалов МТЗ и кандидату геолого-минералогических наук Апрелькову С.Е. за помощь в геологической интерпретации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Апрельков С.Е., Ольшанская О.Н. Тектоническое районирование Центральной и Южной Камчатки по геологическим и геофизическим данным // Тихоокеан. геология. 1989. № 1. С. 53–66.
2. Бердичевский М.Н. Электрическая разведка методом магнитотеллурического профилирования. М.: Недра, 1968. 256 с.
3. Мороз Ю.Ф. Электропроводность земной коры и верхней мантии Камчатки. Л.: Недра, 1991. 184 с.
4. Мороз Ю.Ф., Нурмухамедов А.Г., Лощинская Г.А. Магнитотеллурическое зондирование земной коры Южной Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1995. № 4-5. С. 127–138.
5. Окулесский Б.А., Порай-Кошиц А.М., Смирнов В.С., Нурмухамедов А.Г. Глубинное геоэлектрическое строение юга Камчатки // Астеносфера по комплексу геофизических методов. Киев: Наук. думка, 1988. С. 72–83.
6. Рокитянский И.И. Исследования аномалий электропроводности методом магнитовариационного профилирования. Киев.: Наук. думка, 1975. 280 с.
7. Справочник геофизика. Электроразведка. Книга первая. М.: Недра, 1989. 240 с.

Поступила в редакцию 15 июня 1998 г.

Рекомендована к печати Ю.Ф.Малышевым

A. G. Nurmukhamedov

The geoelectrical section in the upper part of the earth's crust along the Nizhnyaya Oblukovina-Andrianovka profile (Kamchatka)

The results of magnetotelluric sounding along the sublatitudinal profile crossing the central part of Kamchatka Peninsula are offered. Basing on the analysis of polar diagrams, amplitude and phase curves with reference to different directions, it is shown that regional transverse curves should preferably be used to study the upper part of the section. A geoelectrical section through the upper part of the earth's crust is suggested, and stratigraphic reference of the distinguished geoelectrical horizons is given.