

**РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА МЕТОДОМ
МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ
(С. ЗАБАЙКАЛЬСКОЕ, ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ)**

В.Б. Каплун

Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, г. Хабаровск

В статье показаны результаты статистического анализа данных магнитотеллурического мониторинга, выполненного в одном пункте в течение девяти месяцев. Привлекая результаты предыдущих исследований, построены продольная и поперечная амплитудные кривые в диапазоне периодов от $\lg T = -0.6 \div 4.0$ [с]. По полученным кривым построена геоэлектрическая модель. Выделены проводящие слои в низах земной коры (30–35 км) и верхней мантии (200–250 км). Предполагается наличие третьего проводящего слоя на глубинах 100–120 км, отождествляемого с астеносферой.

Ключевые слова: магнитотеллурическое зондирование, мониторинг, статистический анализ, геоэлектрический разрез, астеносфера.

ВВЕДЕНИЕ

В с. Забайкальском, расположенном на берегу р. Уссури в 120 км южнее г. Хабаровска, трижды за последние тридцать лет были выполнены глубинные магнитотеллурические зондирования с интервалом в десять лет. Эти исследования являются уникальными на юге Дальнего Востока РФ, так как регистрация в каждом случае велась в течение нескольких месяцев, и результаты базируются на большом объеме полевого материала. Полученные данные позволяют использовать их в качестве опорных при анализе и интерпретации кривых для сопредельных районов, имеющих слабую изученность методом МТЗ и сложное тектоническое строение.

Сихотэ-Алиньское сводовое поднятие в пределы изучаемой территории заходит частью своего западного крыла. Для тектонического плана характерна отчетливая продольная зональность, обусловленная омоложением складчатых комплексов в направлении с запада на восток. Среднеамурская впадина представляет собой сложную систему горстов, грабенов и поднятий фундамента, различного по возрасту, составу и степени консолидации. Грабены и погружения впадины выполнены палеогеновыми и неогеновыми терригенно-осадочными породами [2]. Верхняя часть разреза осадочных отложений представлена высокоомными аллювиальными отложениями, сопротивление которых составляет 300–700 Ом·м, иногда достигая 1000 Ом·м и более. Ниже залегают более проводящие горизонты, представленные глинами, песчаниками, алевролитами и аргиллитами, сопротивле-

ние которых колеблется от 200 Ом·м (песчаники) до 10–30 Ом·м (глины). Средняя суммарная проводимость осадочного чехла составляет 10–100 См. Сопротивление пород верхней части фундамента составляет 100–500 Ом·м и возрастает с глубиной по мере уплотнения и увеличения степени метаморфизма горных пород. Точка наблюдения расположена на палеогеновых отложениях (андезиты, дациты, их туфы и туфобрекчии), мощность которых составляет около 300 м. Ниже залегают смятые в складки породы фундамента, представленные яшмами, известняками и аргиллитами мощностью более 1200 м.

Проведение электромагнитных исследований методами магнитовариационного и магнитотеллурического зондирования на территории Приамурья начато в 1964 г. Сахалинским комплексным НИИ (СахКНИИ ДВНЦ АН СССР, г. Южно-Сахалинск) [6]. Основные результаты этих исследований методом МТЗ изложены в работе [1], в том числе и по пункту Забайкальское. Регистрация вариаций переменного геомагнитного поля велась трехкомпонентными полевыми магнитовариационными станциями “ИЗМИРАН” с вариометрами конструкции В.Н. Боброва. Электрическое поле в пункте наблюдения было линейно поляризовано во всем анализируемом интервале периодов в субширотном направлении. Поляризация геомагнитного поля в интервале периодов $T = 1000 - 10\,000$ с изменялась от квазилинейной до эллиптической. Кривые ρ_T были построены по направлениям измерительных линий (меридиональному и широтному). Они идентичны по форме, представлены нисходящими ветвями с

последующими перегибами, сдвинутыми относительно друг друга по оси ординат. Широтная кривая расположена по оси ординат значительно выше меридиональной. Анализ возможных искажений показал, что поведение продольных ρ^{\parallel} и поперечных ρ^{\perp} кривых вызваны влиянием трехмерных поверхностных неоднородностей. Левые нисходящие ветви кривых ГМТЗ не связаны с искажающим влиянием регионального индукционного эффекта и горизонтальных геоэлектрических неоднородностей, а несут информацию о вертикальном геоэлектрическом разрезе. В связи с трехмерным распределением геоэлектрических свойств, для интерпретации были взяты среднегеометрические кривые ρ_T , именуемые в работе [1] эффективными и рассчитанные по формуле

$$\rho_T = \sqrt{\rho_{B-Z} \times \rho_{C-Y}},$$

где: ρ_{B-Z} , ρ_{C-Y} – сопротивление вдоль линий, ориентированных в направлениях восток-запад и север-юг, соответственно.

В результате интерпретации была определена глубина залегания проводящего слоя на уровне 110–120 км.

Кроме этого в работе [1] проанализированы результаты зондирования еще в четырех пунктах: Южно-Сахалинск, Александровск, Итуруп и Комсомольск-на-Амуре. Сделан вывод, что при существенно разных уровнях расхождения продольных и поперечных кривых на каждом из пунктов зондирования, характеризующихся резко различными геоэлектрическими условиями, эффективные кривые находятся примерно на одном уровне по оси сопротивлений и при наложении практически совмещаются в интервале первой нисходящей ветви.

Повторное зондирование в с. Забайкальском проводилось нами в период с 1986 по 1988 гг. [3]. Регистрация электромагнитного поля велась пятикомпонентной станцией МЭВС с датчиками В.Н. Боброва. Для увеличения диапазона кривой зондирования использовалась аналоговая станция МТЛ-71. Зондирования проводились при различных длинах электрических диполей и в различные сезоны года. Построена кривая МТЗ и семь кривых ГМТЗ в диапазоне 625÷10 000 с, которые затем были усреднены в единую кривую ГМТЗ. Из-за влияния поверхностных неоднородностей уровень этих кривых по оси сопротивлений различен, но в связи с тем, что кривые имели перекрывающийся диапазон периодов, произведено их совмещение и коррекция уровня полученной кривой к уровню кривой ρ_N , соответствующей нормальному разрезу. При интерпретации этой кривой получены мощность первого слоя – 16 км, сопротивление – 2100 Ом·м. Выделены три зоны повышенной проводимости на глубинах 30–35, 100–120 и 200–220 км. Также выявлено, что в магнитоактивные

дни практически невозможно построить импедансную характеристику разреза, т.к. получаемые параметры имеют очень большой разброс. Это связано с нарушением связи между компонентами электромагнитного поля.

Третий этап магнитотеллурических исследований в с. Забайкальском относится к декабрю 1996 г. Цель – магнитотеллурический мониторинг геодинамических процессов. Режимные наблюдения электромагнитного поля проводились цифровой автоматической станцией ЦАИС согласно методике, предложенной в программе Федеральной системы сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений. Регистрировалось пять компонент электромагнитного поля (H_x , H_y , H_z , E_x , E_y) в непрерывном режиме с частотой опроса 10 сек, начиная с 8 декабря 1996 года по 6 августа 1997 года. Регистрация магнитного поля осуществлялась при помощи кварцевых магнитостатических вариометров, расположенных в немагнитном термостатированном помещении на бетонном основании, не связанном с полом. Датчики соединялись с блоком регистрации, расположенным в отдельном помещении, посредством вкопанного кабеля. Электрическими датчиками являлись два электрических диполя длиной по 50 м, ориентированных в направлениях север–юг и восток–запад. В качестве заземлений использовались графитовые стержни. Для уменьшения влияния изменений поверхностного сопротивления электроды располагались в глиняно-соляном растворе. Периодический контроль за поляризуемостью электродов и сопротивлением между ними показал практически полное отсутствие межэлектродной поляризации и незначительные вариации сопротивления. За период регистрации получено 373 записи длительностью 14 час 27 мин. Обработка предварительно подготовленных данных велась по программе, использующей спектральный анализ электромагнитного поля [8]. Расчеты магнитотеллурических параметров были выполнены для всех 373 записей без отбраковки по качеству первичного поля. В результате были построены кривые сопротивлений ρ_T по двум взаимно перпендикулярным осям – субширотной E_x и субмеридиональной E_y .

АНАЛИЗ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ КРИВЫХ

Из анализа амплитудных кривых, полученных ранее в с. Забайкальском [4], был сделан вывод, что наименее искаженной кривой и более точно отражающей разрез региона является субширотная кривая ρ_{xy} магнитотеллурического зондирования. В связи с этим, для дальнейшего анализа была рассмотрена форма кривых в экстремальных точках и уровень по оси сопротивлений кривых, построенных в широтном направлении. Однако субмеридиональные кри-

вые ρ_{yx} также учитывались при анализе геоэлектрического разреза. Все кривые построены в диапазоне периодов $\lg T = 1.4 \div 3.2$ [с]. Большая часть кривых ρ_{xy} лежит в диапазоне сопротивлений $\lg \rho = 2.0 \div 4.0$ [Ом·м]. Основная часть кривых имеет левую ниспадающую ветвь с минимумом при $\lg T = 2.0$ [с], затем восходящую ветвь с максимумом при $\lg T = 3.0$ [с] и правую ниспадающую ветвь.

Исследование амплитудных кривых проводилось с использованием статистических методов. На первом этапе был выполнен корреляционный анализ всех квазипродольных кривых. При этом коэффициенты взаимной корреляции менялись от 1 до -1. Это свидетельствует о том, что форма кривой очень сильно зависит от зарегистрированного поля, т.к. все остальное оставалось неизменным (аппаратура, методика регистрации, способ обработки и т.д.). А так как зарегистрированное поле является суммой полей внешнего и внутреннего происхождения, изменяющихся во времени, то следующим шагом была попытка выяснить, какая форма кривой является преобладающей, в какие периоды и в каком виде происходит её изменение. Для этого использовался кластерный анализ, а в качестве независимой переменной была выбрана средняя продольная кривая, полученная по результатам работ, проведенных вдоль субширотного профиля в пределах Буреинского массива и Среднеамурской впадины [5].

Перед использованием кластерного анализа все кривые были проверены на принадлежность к одному классу, и определено, какому закону подчинена ошибка измерения амплитудных кривых. На рис. 1 видно, что все анализируемые кривые принадлежат к одному типу и ошибка измерения подчинена нормальному закону распределения.

При кластерном анализе применялся метод полных связей, мерой сходства объектов служил

квадрат евклидовой метрики. Результаты анализа представлены в виде дендрограммы (рис. 2).

Из дендрограммы видно, что все кривые можно разделить на три кластера. Расстояние связи между кривыми внутри кластеров небольшое, что говорит о хорошем сходстве кривых зондирования. Расстояние связи между кластерами в семь раз больше расстояний внутри кластеров.

На рис. 3 видно, что кривая кластера № 3 занимает промежуточное положение между кривыми кластеров № 1 и № 2, в левой своей части тяготея к кривой кластера № 1, а в правой – к кривой кластера № 2. Коэффициент корреляции кривой кластера № 3 с кривой кластера № 1 составляет 0.93, а с кривой кластера № 2 – 0.6. На графиках расстояний каждой кривой от центра своего кластера в каждом кластере имеется некоторое количество кривых, явно выходящих за пределы доверительного интервала 0.95. Это говорит о том, что ряд кривых, имеющих сходные черты с тем или иным кластером, несут в себе какие-то признаки, выводящие их за пределы доверительного интервала.

При разделении совокупности кривых на 4 кластера (рис. 4) следует, что кривые кластеров № 1, № 2 и № 3 в целом конформны друг другу, а форма кривой кластера № 4, состоящего из 41 кривой от всех 300 кривых, резко отличается. Количество кривых, входящих во второй кластер, составляет почти половину всех кривых.

При разделении на семь кластеров (рис. 5) можно видеть, что в основном кривые делятся на две группы. К первой группе можно отнести кривые кластеров № 2, № 3, № 4 и № 7, которые состоят из 30, 64, 20 и 14 кривых, соответственно, и имеют более круглую восходящую левую ветвь без промежуточного минимума. Эти кривые составляют 43% от всего количества кривых. Коэффициент корреляции этих

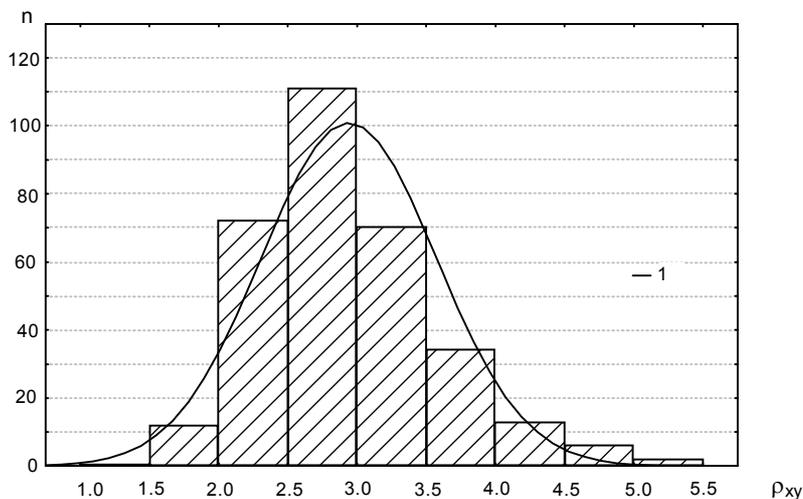


Рис. 1. Гистограмма распределения сопротивления $\lg \rho_{xy}$ на периоде $\lg T = 2.7$ [с]. 1 – кривая нормального распределения.

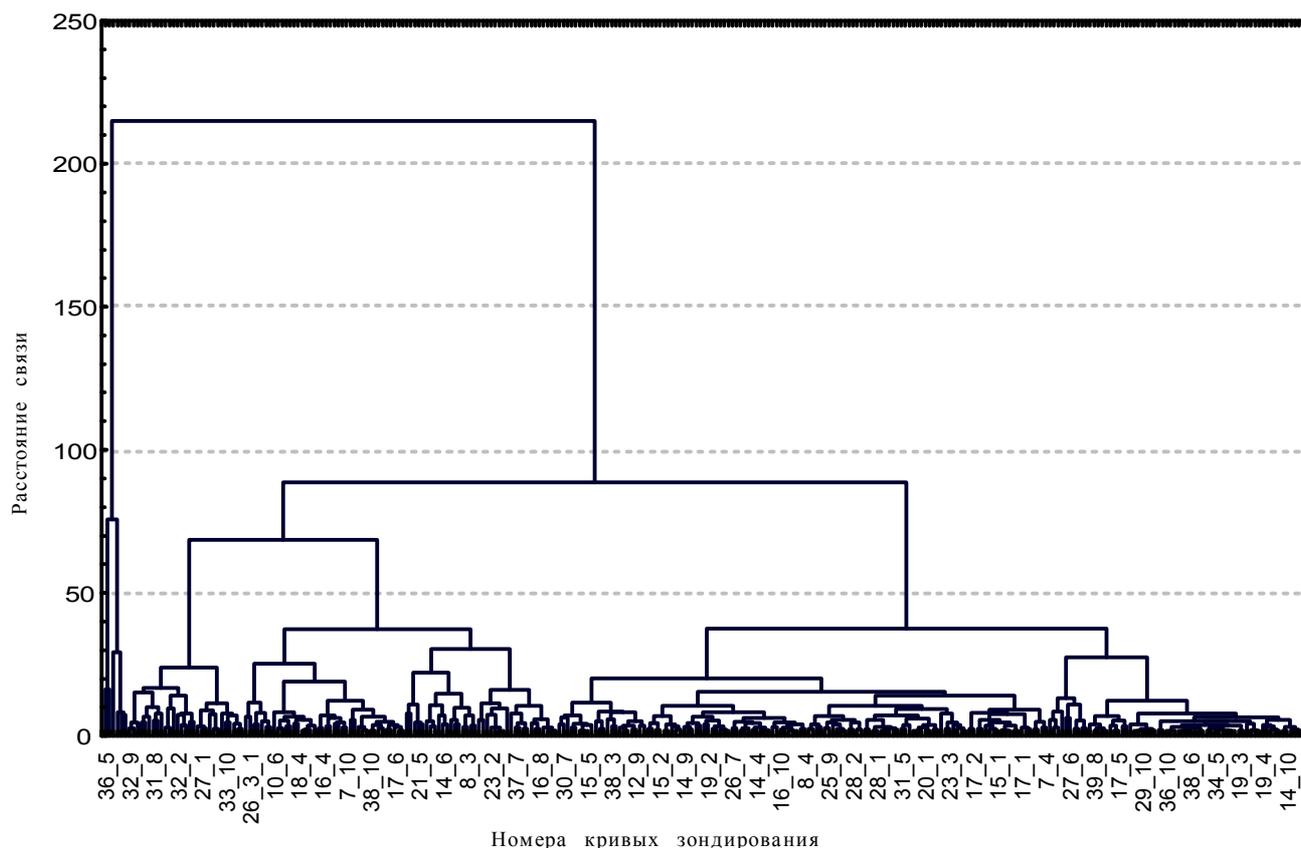


Рис. 2. Дендрограмма связи амплитудных кривых ρ_{xy} .

кривых между собой варьирует от 0.85 до 0.96. Вторая группа кривых, к которой относятся кластеры № 1, № 5 и № 6, включающие в себя 31, 61 и 80 кривых, соответственно, в отличие от первой группы, имеют нисходящие левые ветви с локальным минимумом при $\lg T = 2.0$ [с]. Корреляция между кривыми кластеров № 1 и № 5 достигает 0.86, а самого большого кластера № 6 с кривыми кластеров № 1 и № 5 составляет 0.52 и 0.69, соответственно.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- форма большинства кривых ρ_{xy} подобна, в основном варьирует уровень кривых;
- наибольшее подобие кривых наблюдается в их правой части в диапазоне $\lg T = 2.0 \div 3.2$ [с];
- наиболее устойчиво ведет себя группа кривых, входящих в кластер № 2 (159 кривых) при трехкластерном анализе, в кластер № 2 (148 кривых) – при четырехкластерном анализе, и в кластер № 6 (80 кривых) – при семикластерном анализе.

Исходя из вышесказанного, можно предположить, что основной кривой ρ_{xy} в пункте зондирования является кривая, полученная при трехкластерном анализе и соответствующая кластеру № 2.

Форма этой кривой и ее положение по оси сопротивлений оставались устойчивыми при всех анализах, описанных выше. Кроме того, эта кривая своей правой частью выходит на уровень стандартной кривой [9] (рис. 3).

Описанный выше анализ был также выполнен и для субмеридиональных кривых ρ_{yx} . В результате этого была определена форма кривой ρ_{yx} и ее местоположение на оси сопротивлений. На рис. 6 показаны кривые ρ_{xy} и ρ_{yx} , построенные в пункте Забайкальское при помощи кластерного анализа 300 зондирований, выполненных в непрерывном режиме в течение девяти месяцев. Вероятность построения составляет около 0.75. Лишь 25% всех кривых имеют значительное расхождение или в уровне или в наклоне одной из частей кривых.

Таким образом, мы получили с большой долей достоверности часть кривой магнитотеллурического зондирования в диапазоне $\lg T = 1.4 \div 3.2$ [с].

В результате рассмотрения кривых, построенных для различного количества кластеров, была замечена одна характерная особенность поведения их формы. Практически на всех кривых в диапазоне $\lg T = 2.7 \div 2.9$ [с] отмечается локальный минимум. Наличие данного минимума отмечалось и раньше, но в

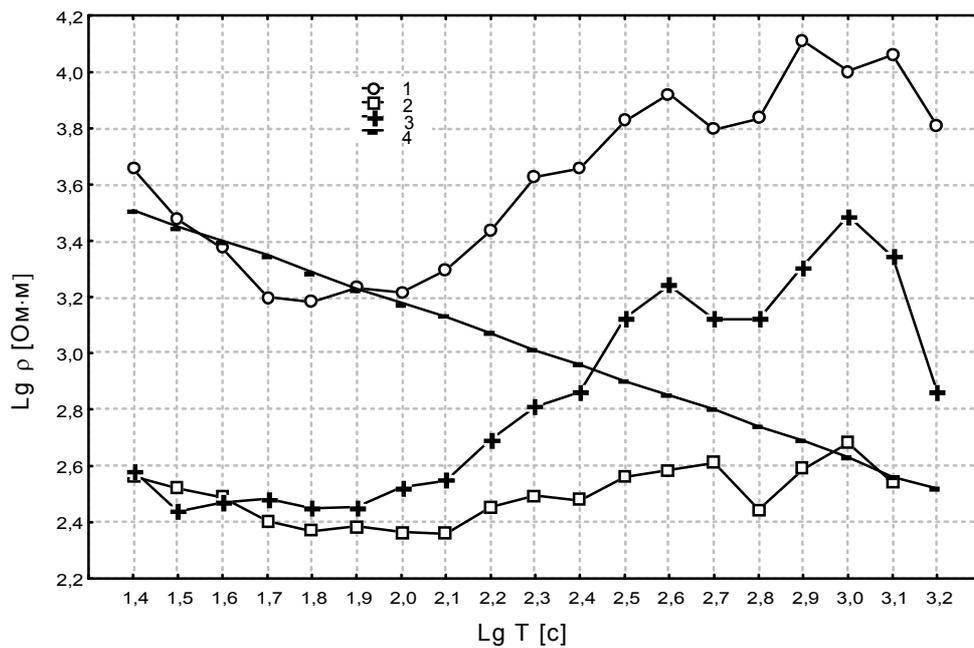


Рис. 3. Средние кривые ρ_{xy} , полученные путем разделения на три кластера.

1 – кластер № 1 (53 кривых),
2 – кластер № 2 (159 кривых),
3 – кластер № 3 (88 кривых),
4 – стандартная кривая.

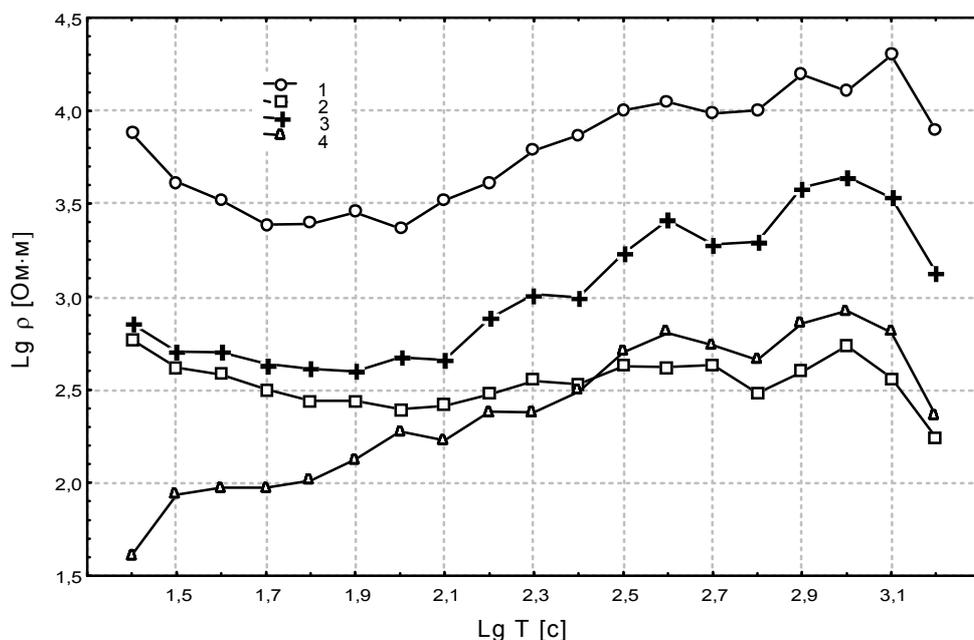


Рис. 4. Средние кривые ρ_{xy} , полученные путем разделения на четыре кластера.

1 – кластер № 1 (35 кривых),
2 – кластер № 2 (148 кривых),
3 – кластер № 3 (76 кривых),
4 – кластер № 4 (41 кривая).

связи со слабой выраженностью его наличие всегда оспаривалось. Данное исследование показало его устойчивое положение на кривой в течение продолжительного времени и доказывает его достоверность. Положение данного минимума связывается с наличием в геоэлектрическом разрезе хорошо проводящего слоя в верхней мантии, называемого астеносферой.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ КРИВЫХ ЗОНДИРОВАНИЯ

Сопоставим данные кривые с кривыми, полученными в с. Забайкальском в различные годы и опубликованными в работах [3, 4] (рис. 7). На рис. 7

показаны квазипродольная кривая ρ_{xy} из работы [3], которая получена путем совмещения кривых МТЗ и ГМТЗ, но не нормированная к уровню стандартной кривой; кривые МТЗ и ГМТЗ из работы [4], но не совмещенные между собой, и кривые ρ_{xy} и ρ_{yx} , полученные станцией ЦАИС в 1997 г. в диапазоне коротких периодов, для которых $\lg T = -0.6 \div 2.2$ [с].

Рассматривая приведенные кривые, можно видеть, что кривая ρ_{xy} из работы [3] имеет минимумы на тех же периодах, что и кривые, полученные при помощи станции ЦАИС, и расположена примерно на том же уровне сопротивлений. Кривые МТЗ из работы [4] отличаются от других кривых своей сильной

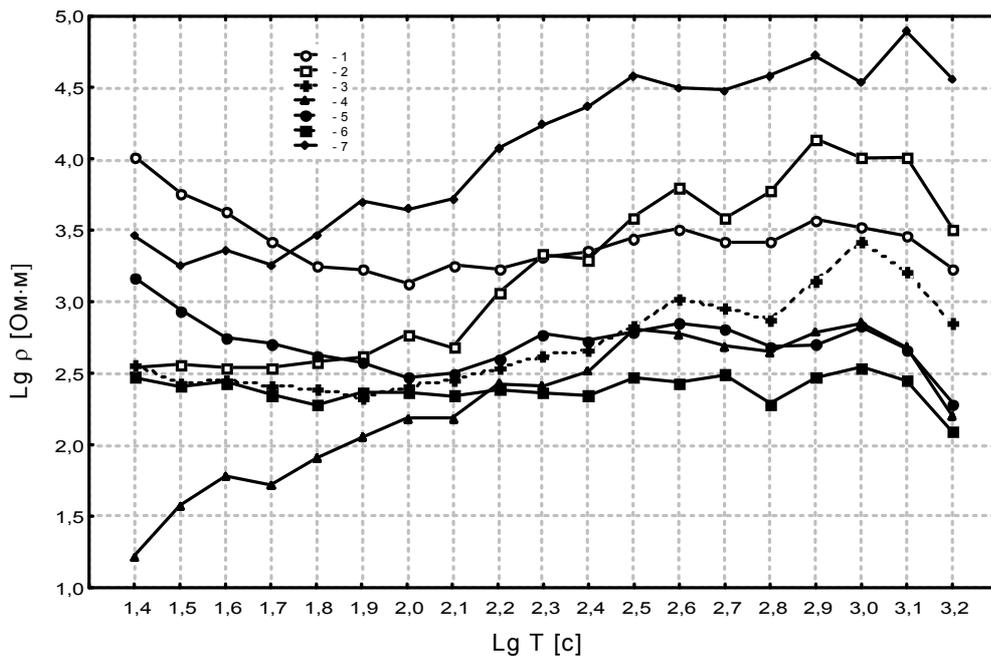


Рис. 5. Средние кривые ρ_{xy} , полученные путем разделения на семь кластеров.

1 – кластер № 1 (31 кривая),
 2 – кластер № 2 (30 кривых),
 3 – кластер № 3 (64 кривых),
 4 – кластер № 4 (20 кривых),
 5 – кластер № 5 (61 кривая),
 6 – кластер № 6 (80 кривых),
 7 – кластер № 7 (14 кривых).

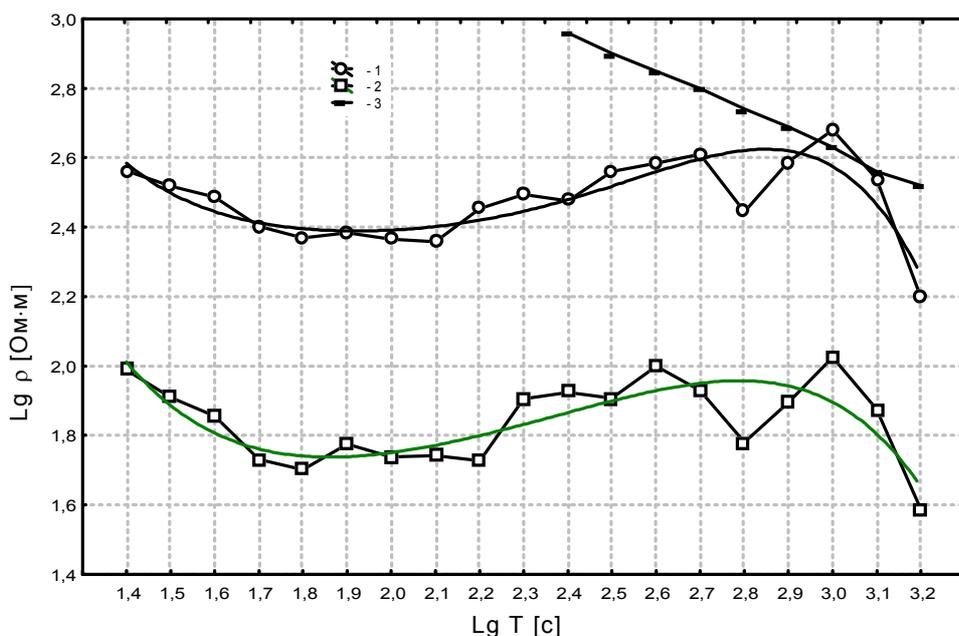


Рис. 6. Кривые ρ_{xy} и ρ_{yx} , полученные с помощью кластерного анализа.

1 – ρ_{xy} , 2 – ρ_{yx} , 3 – стандартная кривая.

сглаженностью, которая привела к образованию одного минимума. Кривая ρ_{xy} ГМТЗ [4] своей правой ветвью соответствует стандартной кривой, что может свидетельствовать об ее уровне по оси сопротивлений, близком к нормальному. Кривая ρ_{yx} ГМТЗ [4] лежит ниже кривой ρ_{xy} и параллельна ей. Ее уровень и форма хорошо согласуются с кривыми, полученными в данной работе при помощи статистического анализа. Сглаживая и совмещая имеющиеся кривые, мы можем получить амплитудные кривые ρ_{xy} и ρ_{yx} в широком диапазоне $\lg T = -0.6 \div 4.0$ [с]. В результате совмещения и сглаживания короткопериодных и среднепериодных кривых ρ_{xy} и ρ_{yx} , опреде-

ленных статистическим методом, мы получили кривые, уровень которых выше, чем у кривых ГМТЗ [4]. Это может свидетельствовать о том, что в районе пункта зондирования присутствует локальная неоднородность, приводящая к смещению амплитудных кривых вверх по оси сопротивлений. Различие уровней кривых МТЗ и ГМТЗ возникает из-за того, что МТЗ проводилось при длине электрических диполей, равной 50 м, а ГМТЗ – 500 м, и, следовательно, на уровень кривых влияли неоднородности различного порядка. В работе [5] на примере анализа ГМТЗ на 400-километровом субширотном профиле, расположенном севернее пункта исследования, показана

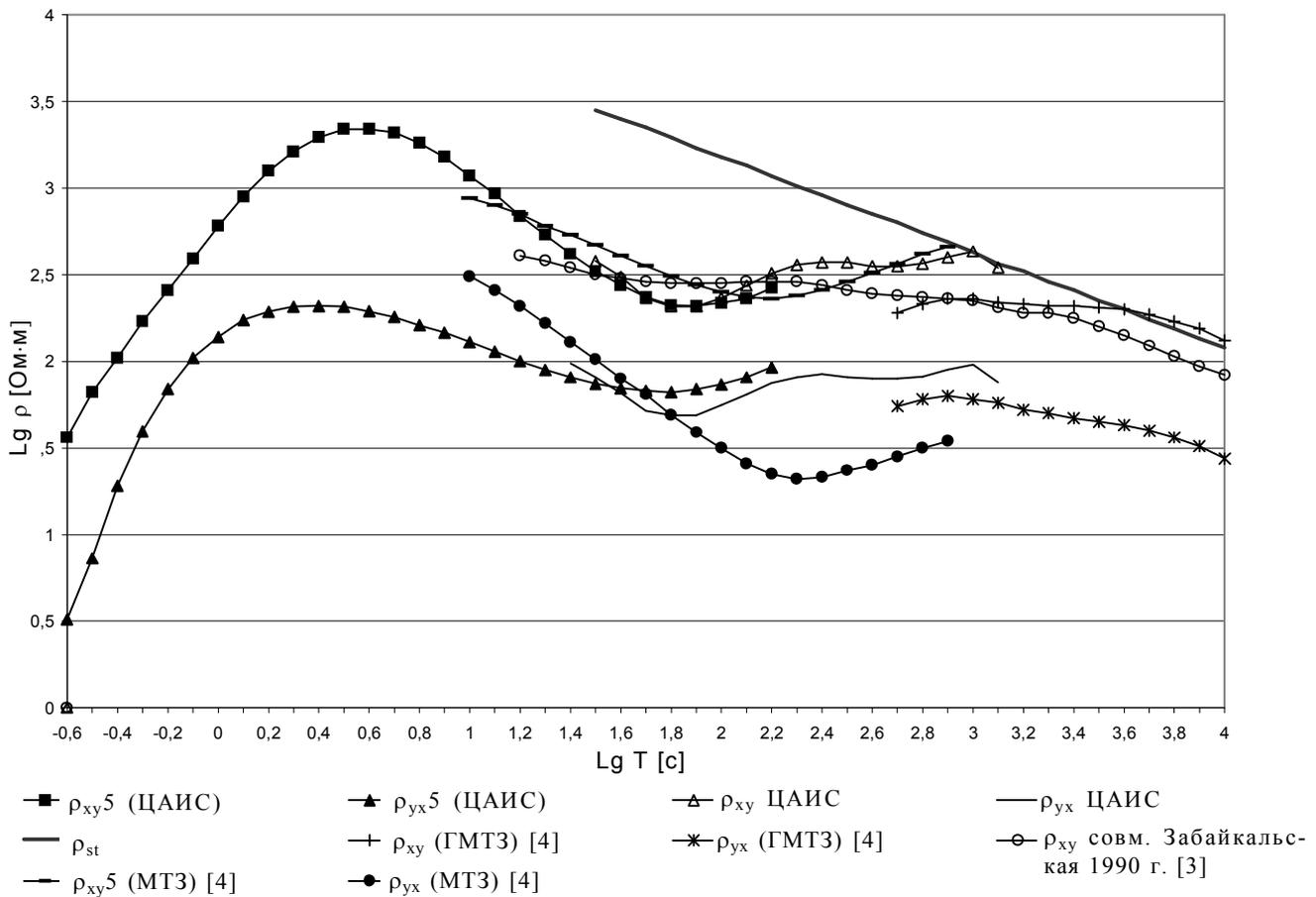


Рис. 7. Кривые ρ_{xy} и ρ_{yx} , полученные в с. Забайкальском в разные годы.

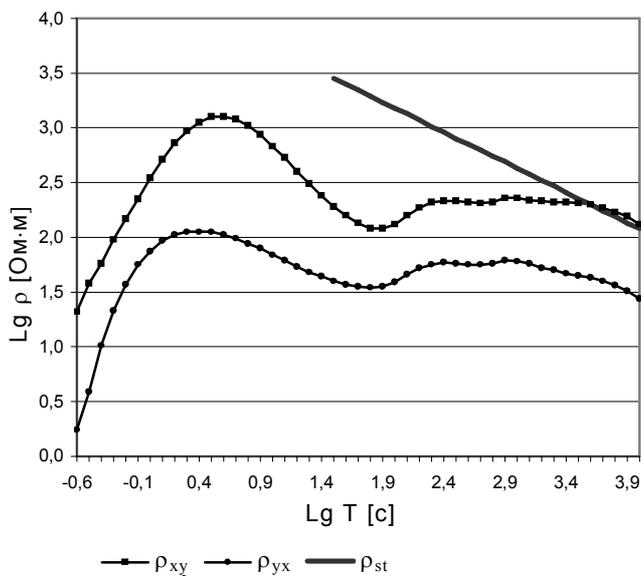


Рис. 8. Совмещенные, сглаженные и нормированные кривые ρ_{xy} и ρ_{yx} в пункте Забайкальское.

предпочтительность уровня кривой ГМТЗ, выходящей своей правой ветвью на стандартную кривую. Сказанное выше свидетельствует о том, что простое осреднение кривых МТЗ в одной точке или даже на некоторой плоскости, имеющей локальные неоднородности одного класса и порядка, например, поля даек, может приводить к смещению их уровня в ту или иную сторону. Для получения неразрывной кривой в пункте Забайкальское проведем нормирование кривых МТЗ к уровню кривых ГМТЗ (рис. 8).

Кривые ρ_{xy} и ρ_{yx} (рис. 8) близки по форме друг другу, но различаются по уровню сопротивлений (кривая ρ_{xy} лежит выше кривой ρ_{yx}). Обе кривые имеют левую восходящую ветвь с максимумом в точке $\lg T=0.6$ [с], хорошо выраженный минимум в точке $\lg T=1.8$ [с], правую пологую ветвь с двумя слабо проявленными минимумами при $\lg T=2.6$ [с] и $\lg T=3.3$ [с]. Ниспадающая часть примерно с периода соответствующего $\lg T=3.6$ [с], совмещается со стандартной кривой ρ_{xy} или параллельной ей ρ_{yx} .

Интерпретация результатов проводилась для широтной кривой ρ_{xy} в рамках одномерной модели. Моделирование выполнялось на компьютере путем

автоматического подбора параметров геоэлектрического разреза под кривую ρ_{xy} . В результате чего был получен следующий геоэлектрический разрез:

$h_1 = 0.06$ км	$\rho_1 = 3.6$ Ом·м	$S_1 = 16$ См
$h_2 = 2.0$	$\rho_2 = 126$	
$h_3 = 4.0$	$\rho_3 = 5903$	
$h_4 = 15.0$	$\rho_4 = 34\,000$	
$h_5 = 18.0$	$\rho_5 = 4.7$	$S_2 = 3830$ См
$h_6 = 33.0$	$\rho_6 = 1109$	
$h_7 = 43.0$	$\rho_7 = 171$	$S_3 = 251$ См
$h_8 = 40.0$	$\rho_8 = 348$	
$h_9 = 65.0$	$\rho_9 = 162$	$S_4 = 463$ См
$h_{10} = 105.0$	$\rho_{10} = 189$	
$h_{11} = \infty$	$\rho_{11} = 18.9$	

В разрезе имеются три хорошо проводящих слоя на глубинах 21–39, 72–115 и 155–220 км. Первый слой расположен в низах земной коры, а два других – в верхней мантии. Расчеты проводимости проводящих слоев показывают, что проводимость нижнекорового проводящего слоя очень высока и почти на порядок выше проводимости нижележащих проводящих слоев. Это говорит о том, что параметры этого слоя определены не совсем точно, так как в этом случае может быть полное экранирование нижележащих слоев. Для уточнения параметров геоэлектрического разреза было выполнено математическое моделирование кривой ρ_{xy} над геоэлектрическим разрезом с автоматическим подбором его параметров. В результате расчетов получены следующие значения:

$h_1 = 0.06$ км	$\rho_1 = 6.4$ Ом·м	$S_1 = 9$ См
$h_2 = 1.3$	$\rho_2 = 181$	
$h_3 = 5.5$	$\rho_3 = 7228$	
$h_4 = 24.7$	$\rho_4 = 2954$	
$h_5 = 2.6$	$\rho_5 = 6.4$	$S_2 = 406$ См
$h_6 = 112.5$	$\rho_6 = 1912$	
$h_7 = 15.9$	$\rho_7 = 251$	$S_3 = 63$ См
$h_8 = 21.0$	$\rho_8 = 431$	
$h_9 = 77.5$	$\rho_9 = 67$	$S_4 = 1157$ См
$h_{10} = 174.0$	$\rho_{10} = 206$	
$h_{11} = \infty$	$\rho_{11} = 46.2$	

Графические результаты представлены на рис. 9.

Результаты показывают, что при неплохом совпадении практической и расчетной кривых, получены изменения параметров геоэлектрического разреза. Мощность нижнекорового проводящего слоя уменьшилась до 2.6 км на глубинах 31.6–34.2 км, и проводимость его составила 406 См, что хорошо согласуется с результатами, полученными ранее [3, 7]. Мощность второго проводящего слоя тоже изменилась и стала составлять 16 км против 43 км предыдущей модели, глубина залегания достигла от 147 до 163 км, а проводимость уменьшилась до 63 См, что является очень низким значением по сравнению с

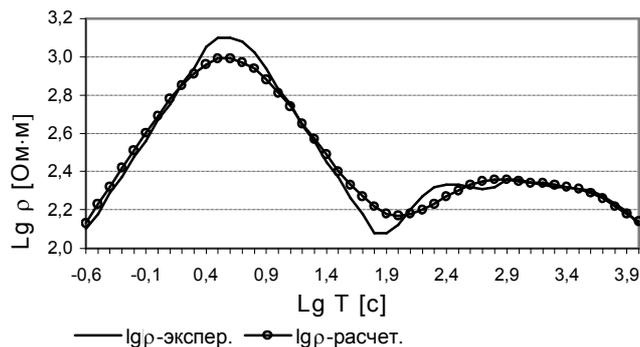


Рис. 9. Экспериментальная и расчетная кривые ρ_{xy} пункта Забайкальское 1999 г. Модель RE-14.

проводимостью вышележащего слоя. Возросла глубина до третьего проводящего слоя и составила 184–261 км, при незначительном увеличении мощности этого слоя резко увеличилась его проводимость до 1157 См. Дальнейшие результаты моделирования показали, что при той же самой сходимости практической и расчетной кривых, показанных на рис. 9, можно подобрать геоэлектрический разрез без второго проводящего слоя при практически тех же параметрах остальных проводящих слоев. В этом случае представляет интерес график изменения сопротивления с глубиной (рис. 10), полученный путем трансформации Ниблетта кривой ρ_{xy} .

Из рис. 10 хорошо видно наличие тонкого, хорошо проводящего слоя на глубине около 30 км, второго проводящего слоя – на глубинах около 100 км и третьего – от 170 до 210 км. Полученные результаты хорошо подтверждаются данными ГСЗ о мощности земной коры региона и мощности инверсного слоя в ее низах [7], о глубине залегания астеносферы и ее мощности, а также хорошо согласуются с результатами МТЗ, выполненными в данном районе ранее [5]. Таким образом, возьмем полученные данные из рис. 10 и постараемся подобрать новый геоэлектрический разрез с наилучшим совпадением практической и расчетной кривыми.

Теоретические расчеты показали, что под экспериментальную кривую с совпадением, близким к показанному на рис. 9, можно подобрать по крайней мере три типа геоэлектрического разреза. Общим для всех типов разрезов является наличие тонкого проводящего слоя в низах земной коры на глубинах 30–35 км проводимостью до 500 См и второго проводящего слоя в верхней мантии на глубинах 195–275 км и проводимостью до тысячи и более См. Первый тип разреза характеризуется отсутствием промежуточного проводящего слоя на глубинах 120–150 км. Второй тип разреза имеет промежуточный проводящий слой, но с очень низ-

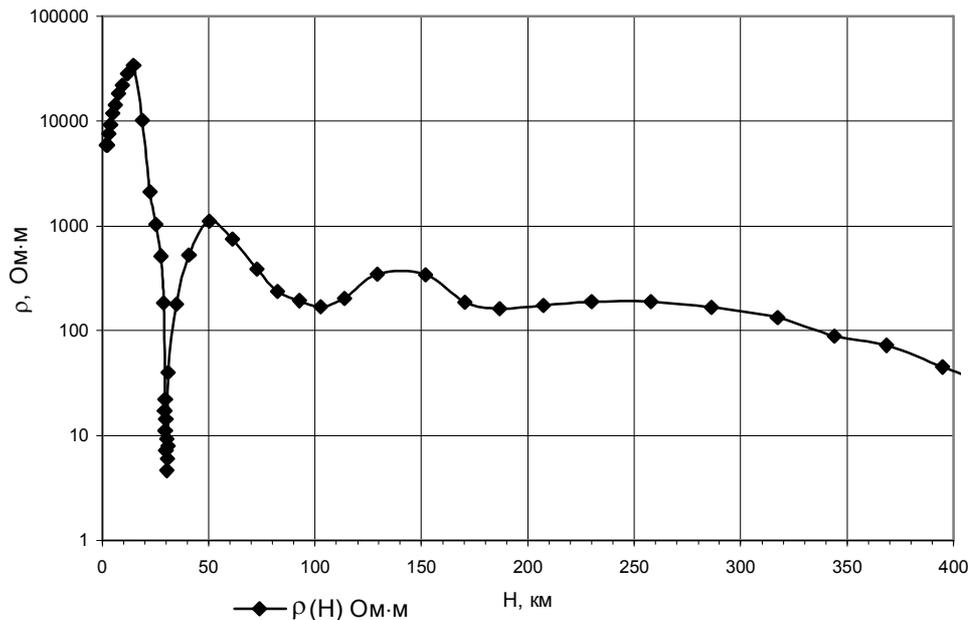


Рис. 10. График изменения сопротивления с глубиной, рассчитанный по кривой ρ_{xy} .

кой проводимостью, как это было показано выше. И третий тип геоэлектрического разреза содержит промежуточный проводящий слой, но на глубинах 180–225 км и проводимостью около 800 См. Глубина залегания третьего проводящего слоя в этом случае составляет 250–275 км, а проводимость – около 900 См. Пример такой модели приведен ниже:

$h_1 = 0.6$ км	$\rho_1 = 38$ Ом·м	$S_1 = 16$ См
$h_2 = 30$	$\rho_2 = 37\ 800$	
$h_3 = 3$	$\rho_3 = 6.7$	$S_2 = 448$ См
$h_4 = 148$	$\rho_4 = 10\ 200$	
$h_5 = 45$	$\rho_5 = 55$	$S_3 = 822$ См
$h_6 = 22$	$\rho_6 = 253$	
$h_7 = 28$	$\rho_7 = 32$	$S_4 = 869$ См
$h_8 = 140$	$\rho_8 = 318$	
$h_9 = \infty$	$\rho_9 = 14.4$	

Результаты моделирования с высокой степенью достоверности показали наличие в геоэлектрическом разрезе двух проводящих слоев – нижнекорового и верхнемантийного (на глубинах 250–275 км). Наличие промежуточного проводящего слоя на глубинах 80–150 км остается под вопросом, хотя его наличие более вероятно, чем его отсутствие, т.к. это подтверждается результатами МТЗ в сопредельных районах и сейсмическими данными об астеносфере. Подобные результаты объясняют, что при проведении одиночных магнитотеллурических зондирований астеносферный проводящий слой не всегда может быть обнаружен вследствие слабой контрастности геоэлектрических слоев в верхней мантии.

ВЫВОДЫ

1. В результате режимных наблюдений в пункте Забайкальское были построены широтная и меридиональные амплитудные кривые МТЗ в широком диапазоне периодов от $\lg T = -0.6$ до $\lg T = 4.0$ [с] и геоэлектрический разрез для широтной кривой ρ_{xy} , уточнены и дополнены ранее полученные данные.

2. Показана возможность использования кластерного анализа для обработки большого объема информации при режимных наблюдениях. Статистические методы позволяют исключить влияние случайных помех, но не могут избавить от влияния локальных неоднородностей в пункте зондирования.

3. Показана неоднозначность определения астеносферного проводящего слоя, связанная с его слабой контрастностью в геоэлектрическом разрезе. Только всесторонний анализ полученных кривых, а также их сравнение с результатами других геофизических методов могут привести к выделению астеносферы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борец В.В., Мардерфельд Б.Е., Чернявский Г.А. К результатам глубинных магнитотеллурических зондирований на Дальнем Востоке // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1975. № 4. С. 91-96.
2. Варнавский В.Г. Палеогеновые и неогеновые отложения Средне-Амурской впадины. М.: Наука, 1971. 184 с.
3. Каплун В.Б. Результат глубинного электромагнитного зондирования в пределах Сихотэ-Алинской складчатой системы // Тихоокеан. геология. 1990. № 2. С. 111-115.
4. Каплун В.Б. Геоэлектрический разрез верхней мантии

- западного Сихотэ-Алиня // Тихоокеан. геология. 1996. Т. 15, № 4. С. 77-87.
5. Каплун В.Б. Предварительные результаты глубинных магнитотеллурических зондирований по профилю п.Облучье-оз.Гасси (Хабаровский край) // Тихоокеан. геология. 1998. Т. 17, № 2. С. 122-135.
 6. Мардерфельд Б.Е. Береговой эффект в геомагнитных вариациях. М.: Наука, 1977. 30 с.
 7. Потапьев С.В. Соотношение поверхностной и глубинной структуры земной коры Приамурья и Приморья // Глубинное строение литосферы Дальневосточного региона (по геофизическим данным) / ДВНЦ АН СССР. Владивосток, 1980. С. 43-53.
 8. Семёнов В.Ю. Обработка данных магнитотеллурического зондирования. М.: Недра, Сиб.отд-ние, 1989. 128 с.
 9. Электроразведка: Справочник геофизика / Под ред. В.К.Хмелевского и В.М.Бондаренко. Т. 1. М.: Недра, 1989. 438 с.

Поступила в редакцию 7 января 2000 г.

Рекомендована к печати Ю.Ф.Малышевым

V.B. Kaplun

Results of geoelectrical monitoring by the method of magnetotelluric sounding (Zabaikalskoye settlement, Khabarovsk Territory)

This paper offers the results of statistical analysis of magnetotelluric monitoring conducted at one site during 9 months. Involving results of previous investigations, a longitudinal I and a transverse amplitude curve have been constructed in a period range of $\lg T = -0.6 \div 4.0$ [s]. A geoelectrical model has been computed on the basis of these curves. Conductive layers in the lowermost strata of the earth's crust (30–35 km) and upper mantle (200–250 km) have been distinguished. The third conductive layer is inferred at depths of 100–120 km identified with the asthenosphere.