

ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ ЛИТОСФЕРЫ АМУРО-ЗЕЙСКОГО ОСАДОЧНОГО БАСЕЙНА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ ЗОНДИРОВАНИЙ

В.Б. Каплун

*ФГБУН Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, ул. Ким Ю Чена 65,
г. Хабаровск, 680000; e-mail: Kaplun@itig.as.khb.ru*

Поступила в редакцию 9 апреля 2012 г.

Выполнен анализ данных магнитотеллурического зондирования, произведенного на юге Амуро-Зейского осадочного бассейна по профилю с. Корфово–с. Асташиха–с. Новосергеевка, длиной 200 км. На участке с. Корфово–с. Асташиха зондирования проведены в режиме АМТ с шагом между пунктами наблюдения 1 км, а на участке с. Корфово–с. Новосергеевка – в режиме АМТ+МТЗ с шагом 5 км. Охарактеризованы форма кривых МТЗ и их изменение вдоль профиля, форма полярных диаграмм основного и дополнительного импедансов, значения параметров неоднородности – N и асимметрии – skew. Произведены оценки размерности геологической среды и выбраны методы интерпретации магнитотеллурических данных. Построены геоэлектрические разрезы для глубин 3 км и 150 км. Охарактеризованы строение и электрические свойства осадочного чехла, земной коры и верхней мантии. Мощность осадочного чехла в грабенах бассейна достигает 1.5–1.7 км. В фундаменте выделены блоки различного сопротивления. По контрастной смене электрических сопротивлений определена мощность земной коры, которая составляет 38–40 км, что согласуется с мощностью земной коры, установленной по сейсмическим данным. Геоэлектрическое строение верхней мантии бассейна относительно простое. На фоне ее низких электрических сопротивлений 20–30 Ом·м в диапазоне глубин 50–80 км выделен слой повышенного сопротивления от первых сотен до тысячи Ом·м. Этот слой не является сплошным, а разделен на блоки зонами пониженного сопротивления, проникающими в среднюю часть земной коры, которые совпадают с разломами различной природы. Дана оценка перспектив нефтегазоносности для отдельных грабенов бассейна.

Ключевые слова: магнитотеллурическое зондирование, глубинное строение, литосфера, Амуро-Зейский осадочный бассейн, Дальний Восток.

ВВЕДЕНИЕ

Амуру-Зейский осадочный бассейн мезозойско-кайнозойского возраста расположен в Центрально-Азиатском тектоническом поясе и наложен на структуры Луныцзян-Селемджинского орогенного пояса, Цзямусы-Буреинского, Аргуно-Мамынского и Дягдачи массивов [19], имеет сложное очертание, занимает площадь около 93000 км² и является наиболее крупным на территории юга Дальнего Востока России. Интерес к изучению бассейна вызван перспективами его нефтегазоносности, тем более, что расположенный южнее на территории Китая бассейн Сунляо, отделенный от него складчатыми сооружениями Малого Хингана, является крупной нефтегазоносной провинцией. Оба этих бассейна входят в Восточно-

Азиатский континентальный рифтогенный пояс [3], вытянутый в близмеридиональном направлении от Северо-Китайской платформы к Сибирской. Формирование его связано с образованием в средней юре-раннем мелу рифтогенных систем, сменившихся в позднем мелу платформенными структурами. Интенсивное изучение Амуро-Зейского осадочного бассейна, проведенное в середине прошлого столетия с целью поисков нефти, не дали положительного результата. Несмотря на это, некоторые исследователи [2, 10, 21] отмечали, что изучение бассейна было выполнено неполностью и необходимо продолжить его исследование, в том числе и геофизическими методами. Помимо прямых геологических признаков для оценки перспективности осадочных бассейнов на

нефтегазоносность важны и геофизические характеристики, в том числе и глубинные – мощность земной коры и литосферы, тепловой поток, физические параметры (электропроводность, скорость, плотность и др.). В связи с этим нами в 2010 г. были проведены рекогносцировочные работы методом магнитотеллурического зондирования (МТЗ) по профилю г. Благовещенск–п. Биракан с шагом 30 км, который пересекает Амуро-Зейский бассейн и выходит за его пределы [9], а также по профилю с. Красное–с. Рошино с шагом 1 км, пересекающему центральную часть Лермонтовского грабена Амуро-Зейского бассейна [18]. В результате были получены электрические параметры осадочного чехла и фундамента бассейна, построен геоэлектрический разрез литосферы южной части Амуро-Зейского осадочного бассейна до глубины 150 км. В разрезе выделены проводящие слои и области пониженного электрического сопротивления в земной коре и верхней мантии, показана роль основных разломов, пересеченных профилем, и дана их геолого-геофизическая характеристика.

Целью данных исследований было более детальное изучение строения литосферы южной части бассейна. Задачами работ было построение геоэлектрических разрезов осадочного чехла и фундамента бассейна, земной коры и литосферы в целом, выявление разломных зон и аномальных областей проводимости в земной коре и верхней мантии. Исследования проводились по профилю с. Корфово–с. Поярково–с. Асташиха–с. Новосергеевка длиной 200 км, расположенному на самом юге бассейна и не выходящему за его пределы (рис. 1).

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И РАЗВИТИЕ БАСЕЙНА

Геологическое изучение рассматриваемой территории было начато еще в середине XIX столетия. Вся площадь бассейна охвачена мелко- и среднемасштабной геологической съемкой, пробурено примерно 1000 картировочных скважин, из них 92 мелких (350–1100 м) и 14 глубоких (1399–3254 м).

В развитии бассейна выделяется три стадии: рифтогенная (поздняя юра–ранний альб), пострифтового погружения (платформенная) (коньяк–кампан), сжатия и замыкания бассейна (неотектоническая) (маастрихт–кайнозой). Осадочный чехол бассейна характеризуется пологим залеганием слоев [11].

В Амуро-Зейском бассейне выделяют зоны устойчивого прогибания, представленные Приамурской, Зейско-Селемджинской, Екатеринославской и Архаринской депрессионными структурами, разделенные Амуро-Мамыньским и Завитинско-Майкур-

ским поднятиями и осложненные системами малых прогибов (рис. 1) [17].

Рифтогенный комплекс представлен образованиями екатеринославской (верхняя юра), итикутской и поярковской (нижний мел) свит. В региональном плане с рифтогенным этапом связано формирование нижнего яруса Амуро-Зейского бассейна, представленного вулканоплутоническими и осадочными образованиями. Первые из них образуют крупные ареалы: Большехинганский, Малохинганский, Умлекано-Огоджинский и др., а вторые – тела в пределах погруженных участков бассейнов. В Амуро-Зейском бассейне грабены (Приамурский, Зейско-Селемджинский, Екатеринославский, Архаринский) выполнены верхнеюрскими и нижнемеловыми терригенными и вулканогенными образованиями мощностью до 2500 м. Главная стадия развития рифтогенного этапа связана с раннемеловой эпохой. В это время сформировался сложный комплекс эффузивов основного, среднего и кислого состава и терригенных образований. На продолжении погруженных зон, развитых на территории России, в пределах КНР располагаются малые бассейны: Сунью, Джаньхэ, Фужао, Цзянь.

В позднем мелу седиментация в Амуро-Зейском бассейне происходила в пределах озерно-аллювиальных равнин. Начальная стадия преобразования рифтогенных структур в платформенные в туроне и кампане (завитинское время) осуществлялась в обстановке динамической активности горно-складчатых сооружений внешнего обрамления Амуро-Зейского бассейна.

ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ

Активное изучение бассейна геофизическими методами началось в 60-е годы прошлого столетия, и было направлено на поиски нефти [2]. К настоящему времени почти вся территория изучена государственной гравиметрической съемкой масштаба 1:200 000, аэромагнитными съемками масштаба 1:25 000–1:200 000, на отдельных площадях выполнены электроразведочные работы (методы ТТ, ВЭЗ, ДЭЗ) и сейсморазведочные профили (КМПВ, МОВ). По результатам работ были построены карты мощности осадочного чехла, структурная схема поверхности фундамента [2, 12, 17, 21].

Региональное гравитационное поле Амуро-Зейского осадочного бассейна (в редукции Буге) характеризуется отрицательными значениями силы тяжести, на фоне которых выделяются отдельные аномалии положительного знака сложной формы северного и северо-восточного простирания, расположенные в основном в южной и центральной частях бассейна,

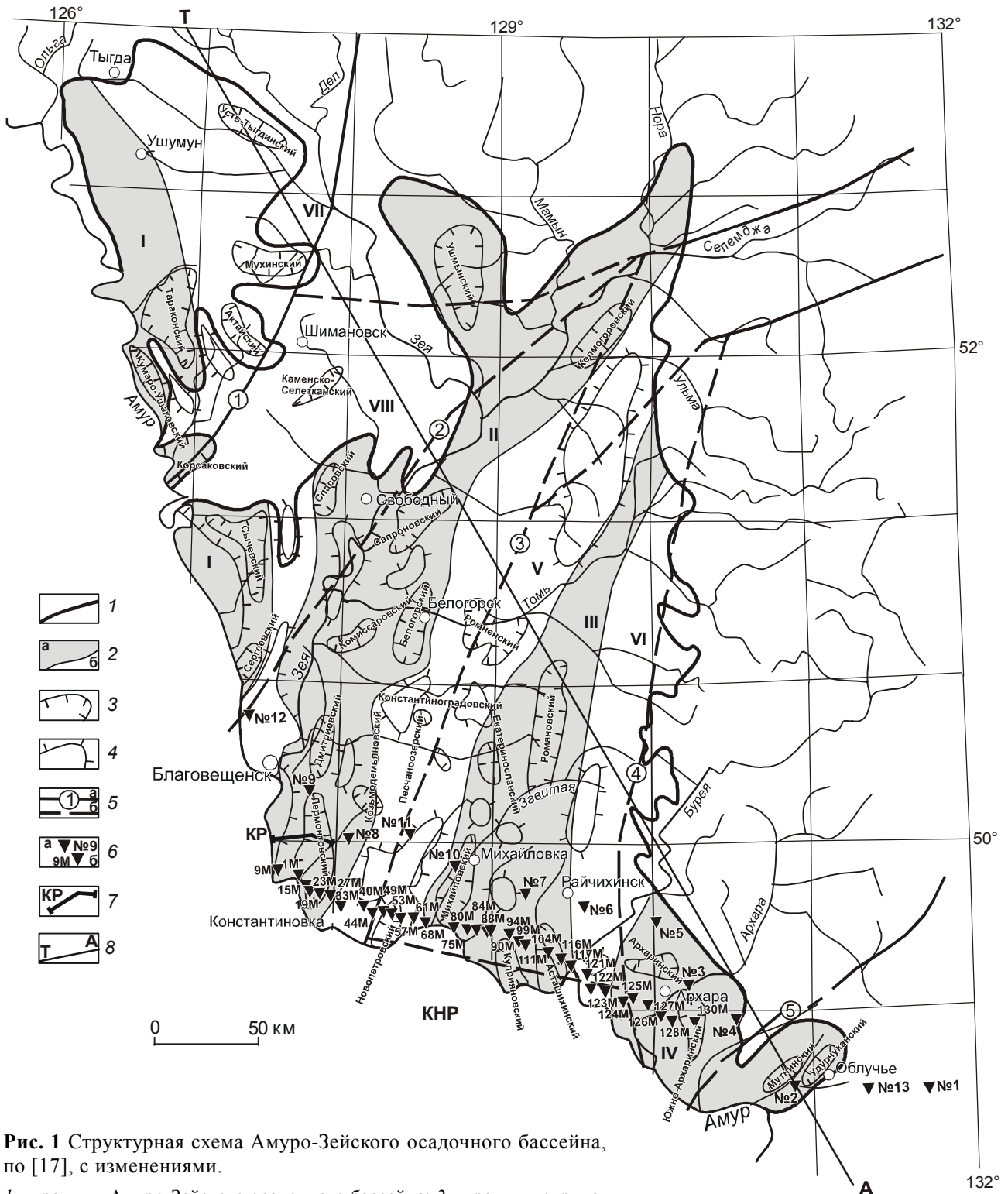


Рис. 1 Структурная схема Амуро-Зейского осадочного бассейна, по [17], с изменениями.

1 – границы Амуро-Зейского осадочного бассейна; 2 – границы отрицательных (а) и положительных (б) структур III порядка; 3–4 – границы прогибов (3) и поднятий (4) IV порядка; 5 – основные разломы (а) и их номера: а – установленные, б – предполагаемые; б – пункты магнитотеллурических зондирований и их номера: а – профиль г. Благовещенск–п. Биракан [9], б – с. Корфово–с. Новосергеевка; 7 – профиль МТЗ с. Красное–с. Рошино [18]; 8 – сейсмический профиль Тында–Амурзет [7].

Римские цифры на схеме. Отрицательные структуры III порядка: I – Приамурская, II – Зейско-Селемджинская, III – Екатеринославская, IV – Архаринская. Положительные структуры III порядка: V – Завитинско-Майкурская, VI – Притуранская, VII – Тыгдинская, VIII – Амуро-Мамыньская. Цифры в кружках – разломы: 1 – Нэньцзянский, 2 – Селемджинский, 3 – Харбинский, 4 – Западно-Туранский, 5 – Хинганский.

совпадающие, в большинстве случаев, с наиболее погруженными структурами бассейна. Перепад значений аномалий силы тяжести южной части бассейна по сравнению с его обрамлением достигает 40 мГл, и поле линейно вытянуто в субмеридиональном направлении. В строении бассейна выделяется две системы погребенных прогибов и поднятий – Призейская и Притуранская, разделенные частично погребенным Ильиновско-Кругловским поднятием [2]. Перепад значений силы тяжести на границе этих тектонических структур составляет 30 мГл. Фундамент впадины имеет блоковое строение и почти все выделенные в его пределах отрицательные и положительные структуры представляют собой горсты и грабены. В работе [21] в строении Амуро-Зейского осадочного бассейна было выделено пять систем рифтогенных впадин, ориентированных в северо-восточном направлении и разделенных поднятиями фундамента. Их положение в основных чертах соответствует структурам, выделенным ранее другими авторами.

По плотностным характеристикам породы бассейна объединены в три комплекса. Нижний комплекс включает в себя образования допозднемезозойского фундамента с плотностями для гранитов 2.55–2.65 г/см³, метаморфических образований различного состава – 2.7 г/см³, габбро и габбро-долеритов – 2.75 г/см³. Выше залегает комплекс вулканогенно-осадочных пород среднего яруса (J₃-K₁) с плотностью от 2.3 до 2.4 г/см³. Верхний ярус (K₂-KZ) состоит из рыхлых и слаболитифицированных глинисто-песчаных отложений и характеризуется плотностью 2.1–2.2 г/см³.

По данным результатов метода теллурических токов (ТТ), высокими образованиями бассейна являются эффузивы раннемелового возраста, а в зонах их отсутствия – кристаллический фундамент [2].

Глубинное строение земной коры Амуро-Зейского бассейна изучено тремя профилями сейсмозондирования (ГСЗ и МОВЗ): р. Зей–р. Буряя [14], г. Свободный–г. Комсомольск-на-Амуре [16], г. Тында–п. Амурзет [6]. Первый из них [14] пересекает северную часть бассейна, второй сечет его центральную часть в субширотном направлении, а третий пересекает весь бассейн с северо-запада на юго-восток.

На профиле р. Зей–р. Буряя Амуро-Зейский осадочный бассейн отделяется от сопредельных структур глубинными сквозькоровыми разломами, характеризуется пониженными граничными скоростями в верхней части земной коры, подъемом границы, разделяющей верхнюю и нижнюю кору, до 22 км и мощностью коры 35–38 км.

На профиле г. Свободный–г. Комсомольск-на-Амуре [16] глубина границы между верхней и нижней корой составляет 24–26 км, а мощность земной коры – 38 км. Здесь также отчетливо проявлен сквозькоровый разлом на восточной границе бассейна.

На профиле г. Тында–п. Амурзет [6] мощность земной коры под бассейном составляет 38–42 км. Средняя часть коры (глубины 15–30 км) имеет сложное строение и характеризуется выклиниванием границ, смещением блоков относительно друг друга, с латеральной протяженностью блоков в среднем 30–60 км, локальными изменениями рельефа границ и мозаичным характером распределения скоростей при их закономерном возрастании вниз по разрезу от 5.8 до 7.1 км/с.

Наиболее сложное строение отмечается в области сочленения бассейна с Туранским блоком Бурейского массива. Используя полученную модель разреза и данные о скоростях продольных и поперечных волн в отдельных блоках, было рассчитано распределение содержания кремнезема в толще консолидированной коры (в вес. %). В результате в нижней и средней коре юго-восточной части бассейна отмечается подъем пород основного состава (содержание кремнезема здесь менее 55 %) до глубины 12 км, что может свидетельствовать, по мнению авторов, о возможной крупномасштабной переработке низов коры мантийными процессами, вплоть до ее полной базификации. Под поверхностью Мохоровичича скорость продольных волн составляет 8.0 км/с. Контрастных изменений, которые отражали бы ее активное состояние, отмечено не было. В верхней мантии выделены сейсмические границы на глубинах 60, 70 и 80 км с воздыманием их к юго-восточному окончанию профиля.

Для крайнего севера бассейна, вдоль трассы БАМ, имеются результаты магнитотеллурических зондирований до глубины 60–70 км, показывающие наличие проводящих зон в средней части земной коры бассейна [15].

МЕТОДИКА ПОЛЕВЫХ РАБОТ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Метод магнитотеллурического зондирования основан на изучении связей временных вариаций естественных электрического и магнитного полей, измеренных на земной поверхности во взаимно перпендикулярных направлениях, и обеспечивает информацию о трехмерном распределении электрического сопротивления внутри Земли. Регистрация естественного электромагнитного поля производится в каждой отдельной точке в широком диапазоне частот

($10^4 \div 10^{-4}$ Гц). Глубина исследований связана с глубиной проникновения электромагнитного поля в Землю, называемой скин-глубиной (δ), которая зависит от частоты (ω) и электрического сопротивления среды (ρ)

$$\delta = \sqrt{2\rho/\mu\omega} \approx 500\sqrt{\rho/f} \approx 500\sqrt{\rho T}, \text{ метры,} \quad (1)$$

где: μ – магнитная проницаемость среды, f – частота, T – период.

Результаты зондирований представляются через передаточные функции, изображенные в виде кривых электрического сопротивления (ρ) и фазы импеданса (φ).

Данные исследования явились продолжением работ, выполненных в 2010 г. на юге Амуро-Зейского осадочного бассейна [9, 18], впервые показавших возможности метода МТЗ в изучении строения его литосферы и позволивших определить методику полевых работ для решения поставленных задач.

Полевые работы были выполнены с июня по август 2011 г. Регистрация естественного электромагнитного поля Земли проводилась в широком частотном диапазоне от $1 \cdot 10^4$ до $1 \cdot 10^{-4}$ Гц с использованием цифровой 24-разрядной станции MTU-5A производства фирмы Phoenix (Канада) с двумя типами индукционных магнитных датчиков АМТС-30 и МТС-50, имеющих частотный диапазон $10000 \div 0.1$ Гц и $400 \div 0.0001$ Гц, соответственно. Индукционные датчики и электрические линии устанавливались на местности согласно инструкции в азимутах север-юг – X-компонента, запад-восток – Y-компонента. Длина электрических линий равнялась 70 метрам, в качестве заземлителей использовались слабополяризующиеся угольные электроды. Время регистрации электромагнитного поля в высокочастотном диапазоне составляло около 35–40 минут, а в низкочастотном – 18 часов, а в пунктах № 1, 9, 33, 68, 104 и со 117 по 130 – 32 часа. Расстояние между пунктами наблюдений составляло в основном около 1 км, за исключением населенных пунктов и водных объектов (рек, озер, водохранилищ, болот). Во всех пунктах регистрация естественного электромагнитного поля Земли проводилась в диапазоне частот $10000 \div 0.1$ Гц, а каждое четвертое (иногда седьмое) зондирование и в диапазоне $400 \div 0.0001$ Гц. Зондирования со 117 по 130 выполнены с шагом около 5 км. На пунктах № 118, 120, 121 не удалось получить записи в высокочастотном, а на пункте № 129 в низкочастотном диапазонах из-за сбоя аппаратуры. Всего было выполнено 95 высокочастотных зондирований в режиме АМТЗ, 33 зондирования в расширенном частотном диапазоне в режиме АМТЗ+МТЗ и одно зондирование в режиме МТЗ. Географически

профиль протягивается от с. Корфово (МТЗ № 11), через с. Поярково и с. Асташиха (МТЗ № 117) до с. Новосергеевка (МТЗ № 130) (рис. 1), где показаны только те пункты, где выполнены зондирования в расширенном частотном диапазоне.

Работы велись с использованием автотранспорта по дорогам на максимально возможном удалении от населенных пунктов и линий электропередач. Это позволило получить на большинстве пунктах зондирований записи электромагнитного поля хорошего качества и с минимальным уровнем индустриальных помех. Обработка полевых данных велась с использованием пакета программ SSMT2000 фирмы Phoenix Geophysics (Канада). Дальнейшее редактирование кривых МТЗ с целью удаления на них “отскоков” значений, связанных с различного рода помехами, и интерпретация проводилась в рамках программ “Корректор”, “MTS-Prof” и “MTS-Prof INV” фирмы “Северо-Запад” (г. Москва).

В результате обработки кривые МТЗ для режима АМТЗ построены в диапазоне $1 \cdot 10^{-4}$ с \div 1с, для режима АМТЗ+МТЗ – $10^{-4} \div 1-3 \cdot 10^3$ с.

АНАЛИЗ ДАННЫХ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Для анализа использованы магнитотеллурические данные, характеризующие геоэлектрический разрез: форма кривых МТЗ и их изменение вдоль профиля, форма полярных диаграмм основного и дополнительного импедансов, значения параметров неоднородности – N и асимметрии – skew [1]

$$N = (Z_{xy} - Z_{yx}) / (Z_{xy} + Z_{yx}), \quad (2)$$

$$\text{skew} = |(Z_{xx} + Z_{yy}) / (Z_{xy} - Z_{yx})| \quad (3)$$

где: Z_{xy} , Z_{yx} – основные импедансы, Z_{xx} , Z_{yy} – дополнительные импедансы.

Параметр неоднородности N позволяет оценить степень горизонтальной геоэлектрической неоднородности, а параметр асимметрии skew – степень отклонения среды от двумерно-однородной или осесимметричной. В случае горизонтально-однородной среды параметры N и skew равны нулю.

При проведении полевых исследований реальная геологическая среда не является однородной, и зарегистрированное электромагнитное поле отражает изменение электрического сопротивления не только под пунктом зондирования, но и в окружающем ее нижнем полупространстве. Это приводит к взаимному влиянию электромагнитных полей от объектов с различной проводимостью, находящихся в стороне от пункта регистрации, и, как следствие, к искажению истинного поля и кривых зондирования. Наиболее подвержено этому влиянию электрическое поле.

В связи с этим, для восстановления истинного электрического разреза в пункте зондирования, необходимо провести анализ возможных искажений, выполнить комплекс мер, направленных на удаление или уменьшение искажающего влияния неоднородного строения разреза на интерпретируемую кривую, определить размерность среды.

Анализ кривых магнитотеллурических зондирований

Рассмотрение всех кривых показало, что форма большинства высокочастотных кривых подобна форме ближайшей кривой зондирования, полученной в расширенном частотном диапазоне. В связи с этим для дальнейшего анализа использовались длиннопериодные кривые.

Результаты зондирований представлены амплитудными и фазовыми кривыми (рис. 2). Все амплитудные кривые, за исключением пункта № 121, имеют левую ниспадающую ветвь с хорошо выраженным минимумом, далее – восходящую ветвь с широким максимумом и полого ниспадающую правую ветвь. Меридиональные и широтные кривые по форме и уровню по оси сопротивлений близки друг другу. В области высоких частот до 1 Гц все амплитудные меридиональные и широтные кривые совпадают друг с другом, на более низких частотах расходятся. Это расхождение в основном незначительное, но на отдельных точках, например МТЗ № 40, может достигать одного порядка. Наибольшее расхождение широтной и меридиональной кривых наблюдается на пунктах № 126–130. Появившись на кривых МТЗ № 126 на величину одного порядка, оно увеличилось до двух порядков в пунктах № 127 и № 128, а затем уменьшилось на менее чем один порядок в пункте № 130. Данное расхождение уровня кривых наблюдалось лишь за счет понижения уровня широтных кривых (ρ_{yx}), уровень и форма меридиональных кривых (ρ_{xy}) оставались неизменными.

Помимо описанного выше явления отмечается еще одна особенность в расхождении уровня амплитудных кривых на частотах ниже 1 Гц. В большинстве пунктов правая низкочастотная ветвь широтной кривой (ρ_{yx}) ниже по уровню сопротивления, чем меридиональной кривой (ρ_{xy}), однако в пунктах № 9, № 1, № 75, № 80, № 122, № 123 все наоборот, хотя это расхождение и незначительное. Изменение формы кривых по профилю происходит плавно, но, тем не менее, в пределах профиля можно выделить несколько участков с более близкими чертами. Западная часть профиля до МТЗ № 33 характеризуется пологими кривыми во всем диапазоне измеренных периодов. Они имеют широкий минимум, и все кривые

лежат в диапазоне от 10 до 100 Ом·м. Между пунктами МТЗ № 33 и № 57 минимум на кривых – более контрастный, а правая восходящая ветвь – более крутая, далее до МТЗ № 80 опять происходит выполаживание правой восходящей ветви. Между пунктами МТЗ № 80 и № 117 амплитудные кривые характеризуются отчетливо выраженным минимумом в левой части кривой и круто восходящей правой ветвью, переходящей в широкий максимум на уровне 1000 Ом·м с пологой ниспадающей правой частью кривой. Далее по профилю, кроме кривой МТЗ № 121, имеющей восходящую ветвь, начиная с коротких периодов, и переходящую в хорошо выраженный максимум на уровне 10000 Ом·м, все оставшиеся кривые имеют левую ниспадающую ветвь с минимумом в диапазоне 0.1÷1 с, переходящим в круто восходящую ветвь и далее в максимум на уровне первых сотен Ом·м с пологой ниспадающей ветвью. Помимо двух основных экстремумов, минимума на левой ветви кривой и максимума на правой, на левой нисходящей ветви отмечается проявление слоя, имеющего относительно повышенное сопротивление по отношению к вмещающим его слоям. Этот слой наиболее отчетливо проявляется в западной части профиля до МТЗ № 80, но не на всех кривых зондирований, и, вероятно, он не имеет сплошного распространения.

Поведение фазовых кривых подобно поведению амплитудных кривых. Короткопериодные (до 1 с) ветви широтной и меридиональной фазовых кривых совпадают друг с другом на большей части пунктов зондирования. С увеличением периода происходит расхождение кривых по уровню, иногда их взаимное пресечение. Наибольшие различия широтной и меридиональной фазовых кривых отмечаются на пунктах № 111–121 и № 126–128.

Импедансные полярные диаграммы

Рассмотрение импедансных полярных диаграмм (рис. 3) показывает, что на большинстве пунктов зондирования до периода регистрации 1 с форма диаграммы основного импеданса близка круговой, а величина дополнительного импеданса имеет маленькие значения, которые не отражены на диаграммах из-за их незначительной величины. Это свидетельствует об одномерности среды в данном диапазоне периодов. В диапазоне периодов от 1 с до 1000 с отмечается изменение формы, которая приобретает вид овалов и восьмерок при увеличении величины дополнительного импеданса. Это свидетельствует об изменении размерности среды. Наиболее контрастный и устойчивый вид кривых наблюдается в диапазоне 10÷1000 с, а диапазон 1÷10 с является областью перехода от одномерной среды к более сложной. Ис-

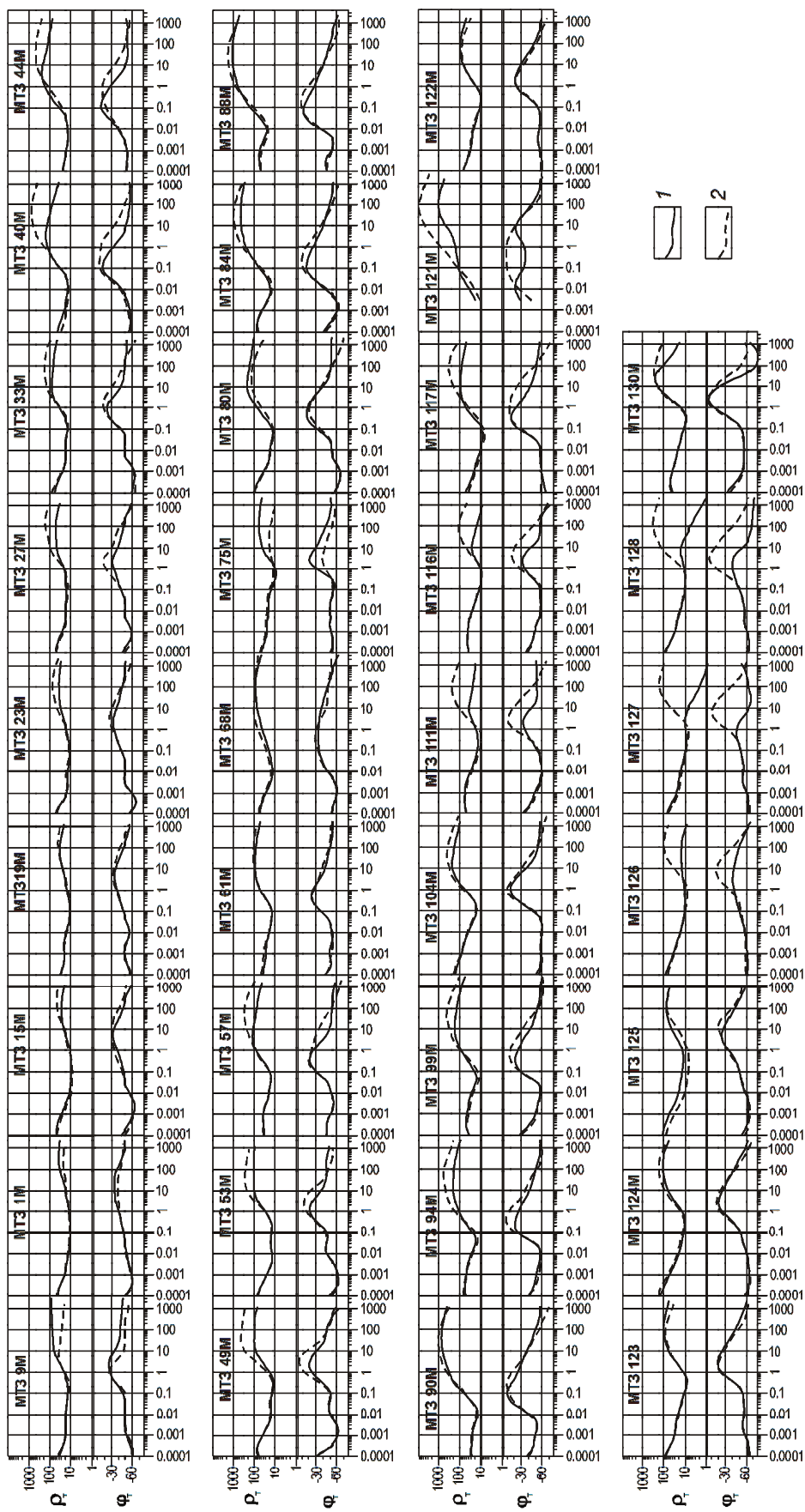


Рис. 2 Кривые кажущегося сопротивления и фазы импеданса профиля с. Корфово-с. Новосергеевка.

1 – меридиональные; 2 – широтные.

ключением является пункт №121, где изменение размерности разреза проявляется на более высоких периодах (0.1 с). Форма полярных диаграмм основного и дополнительного импедансов на периодах свыше 10 с и величина параметра осесимметричности skew, превышающая величину 0.3, показывают, что среда в этом диапазоне периодов является трехмерной (3D) и асимметричной. По амплитудным кривым (рис. 2) видно, что электрическое сопротивление верхнего слоя изменяется в диапазоне примерно от 10 до 100 Ом·м. Оценим примерную глубину (δ), на которой начинается происходить изменение размерности разреза, используя формулу (1): при $\rho = 50$ Ом·м, $T = 1$ с, $\delta \approx 3500$ м. Исходя из результатов, полученных ранее по геолого-геофизическим данным, свидетельствующим о том, что данная величина примерно соответствует максимальной глубине залегания фундамента бассейна, можно утверждать, что в пределах профиля строение осадочного чехла бассейна можно представить в виде одномерной модели (1D), а более глубокие слои геоэлектрического разреза являются трехмерной (3D) асимметричной структурой.

При преимущественной ориентации осей импедансных полярных диаграмм (рис. 3) от северо-западных к северо-восточным отмечаются некоторые особенности их поведения при рассмотрении профиля с запада на восток. Можно выделить субмеридиональные направления осей диаграмм в районе пунктов № 15–19, № 49–53, № 75–80, № 121, № 126. В ближайших к ним пунктах зондирования отмечается разворот осей диаграмм в сторону этих пунктов, которое может быть северо-западным или северо-восточным, в зависимости от положения пункта относительно оси. Направления осей основного импеданса близки простиранию осей следующих структур: № 15–19 – Лермонтовского грабена, № 49–53 – Новопетровского грабена, № 75–80 – Михайловского грабена, № 121 – Притуранской положительной структуры, № 126 – Архаринского грабена (рис. 1).

Гальванические искажения и определение размерности среды

Проведена оценка размерности среды и влияние гальванических искажений с использованием программы WILDIM [23], основанной на оценках критериев инвариантности, которые позволяют восстановить столько информации, сколько возможно из тензора без использования априорных данных о размерности среды. Кроме этого в программе учитывается наличие помех в исходных данных. Расчеты выполнялись для 100 частот во всем диапазоне регистрации магнитотеллурических кривых профиля. Резуль-

таты расчетов приведены в табл. Для удобства представления и наглядности результаты сгруппированы по декадам. Полученные данные подтверждают выводы, сделанные из анализа кривых МТЗ, импедансных полярных диаграмм и параметров неоднородности и асимметрии.

Из таблицы видно, что для большинства пунктов до периода 1 с геоэлектрический разрез представлен одномерной средой, в диапазоне периодов от 1 с до 10 с кривые МТЗ отражают в основном трехмерность среды, а в диапазоне периодов свыше 10 с отражают не только трехмерность среды, но и влияние гальванических искажений.

При исследованиях в осадочных бассейнах большое влияние на кривые МТЗ могут оказывать статические искажения. К такого рода искажениям относят S и ρ эффекты, которые сохраняют свои свойства и в трехмерном случае [1].

S-эффект вызывается изменением проводимости осадочного чехла, который подстилается высокоомным фундаментом, и приводит к искажению уровня низкочастотной ветви амплитудных кривых МТЗ. Одномерная инверсия дает достаточно точные значения проводимости верхней части геоэлектрического разреза, но искажает информацию о его глубинной части. Возможное воздействие S-эффекта на кривые МТЗ можно оценить по графику изменения сопротивления вдоль профиля меридиональной ρ_{xy} и широтной ρ_{yx} кривых для трех периодов: 0.001, 3.41 и 857 с (рис. 4). Первый период относится к левой нисходящей ветви амплитудных кривых, второй – к восходящей ветви, а третий – к правой нисходящей ветви. На рис. 4 для кривых обоих направлений отчетливо видна корреляция графиков для периодов 3.41 и 857 с и ее отсутствие для графика на периоде 0.001 с. В то же время, рассматривая фазовые кривые φ_{xy} и φ_{yx} (рис. 2), можно видеть, что большинство из них сходится в области длинных периодов свыше 800 с. В связи с этим, для уменьшения влияния эффекта S можно использовать коррекцию амплитудных кривых на периодах, где сходятся фазовые кривые [1], в нашем случае это периоды, превышающие 800 с.

ρ -эффект вызывается наличием геоэлектрических неоднородностей в верхней части разреза и приводит к смещению амплитудных кривых во всем зарегистрированном диапазоне и расхождению высокочастотных ветвей фазовых кривых. Кривые МТЗ (рис. 2) показывают отсутствие отчетливо выраженного проявления ρ -эффекта. Об этом же свидетельствуют круговая форма импедансных полярных диаграмм (рис. 3) и величина параметра неоднородности N, близкая к нулю.

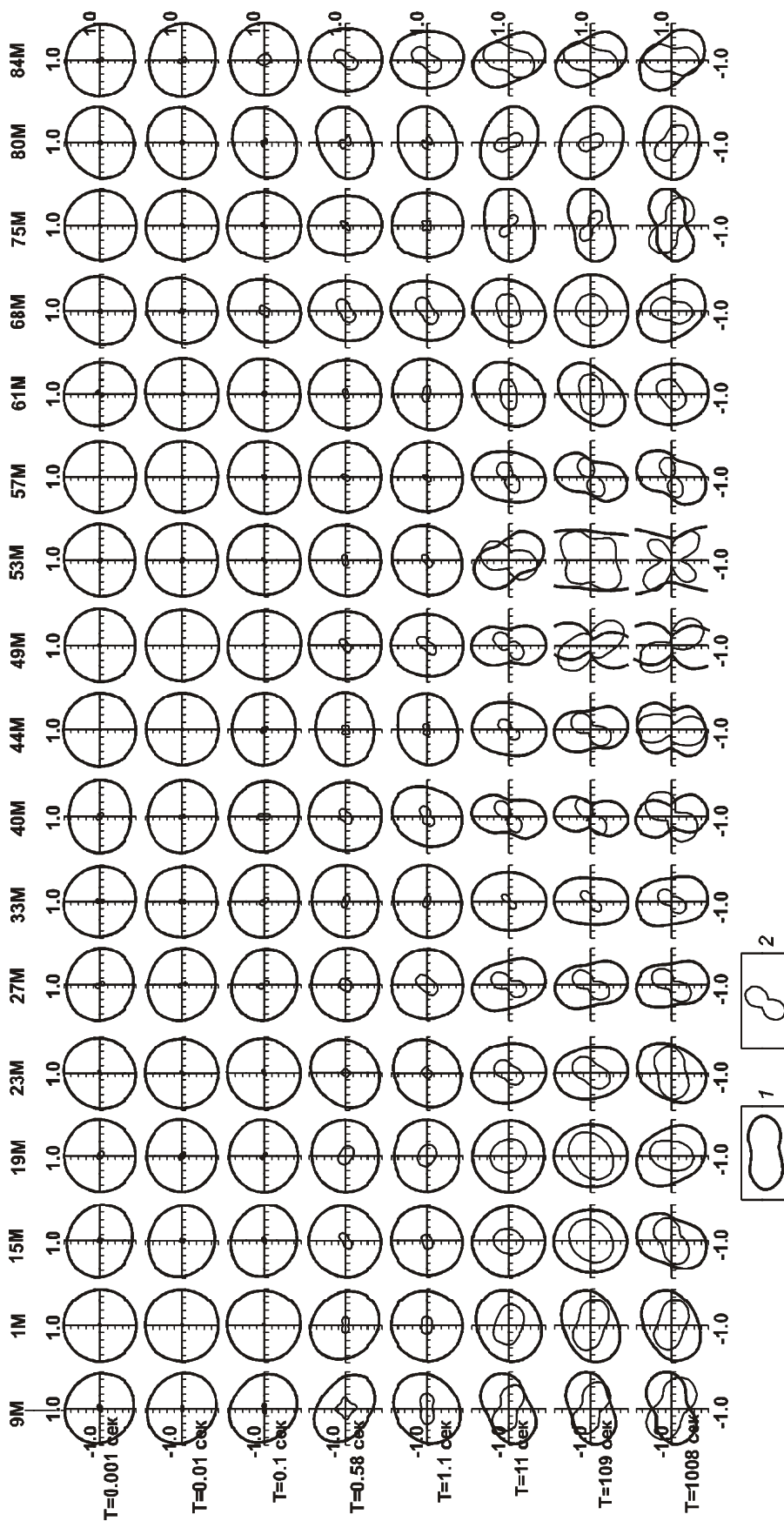


Рис. 3 Импедансные полярные диаграммы МТЗ для различных периодов.

1 – основного импеданса, 2 – дополнительного импеданса.

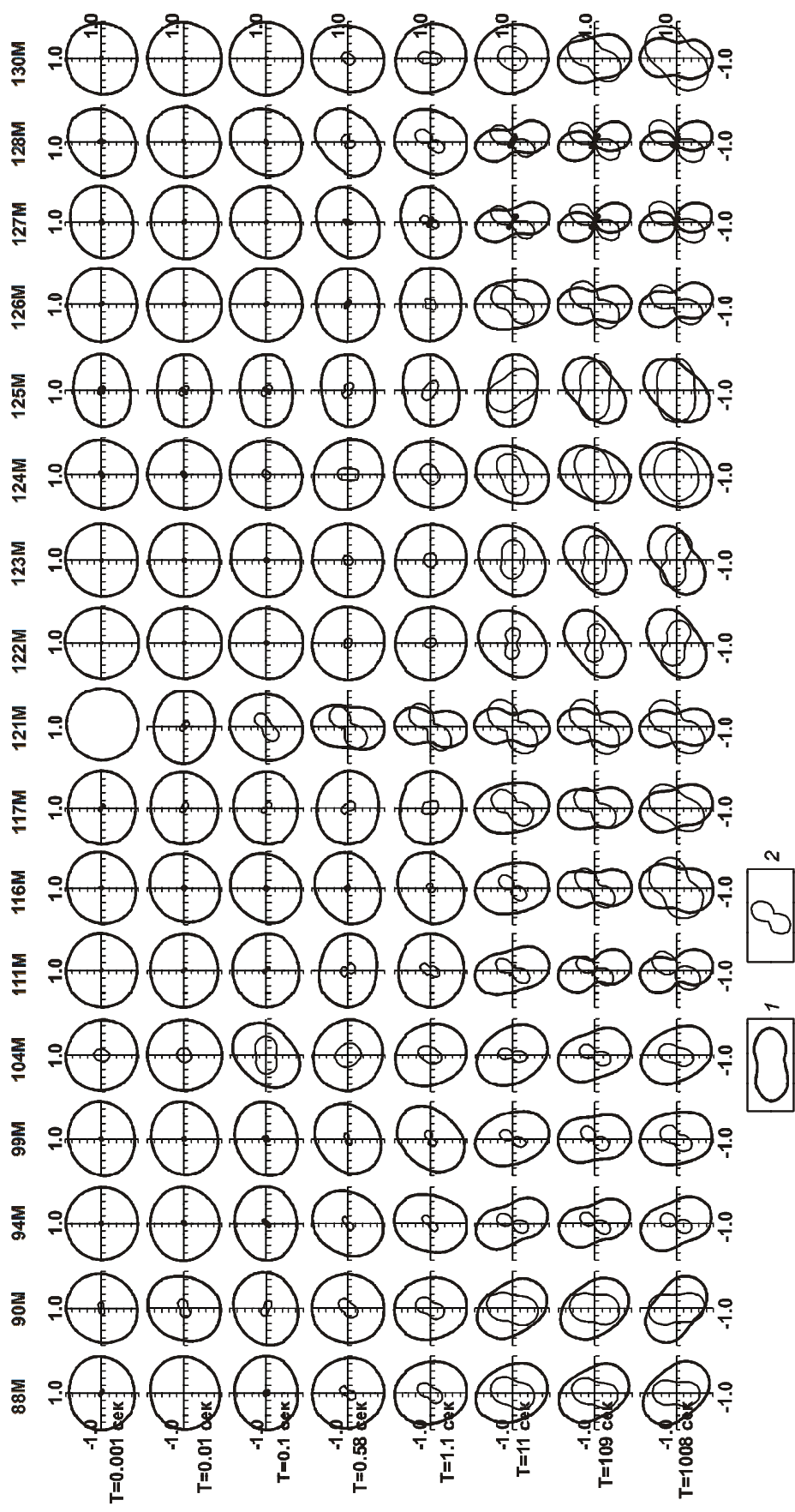


Рис. 3 (Продолжение) Импедансные полярные диаграммы МТЗ для различных периодов.
 1 – основного импеданса, 2 – дополнительного импеданса.

Таблица. Параметры размерности среды в пунктах зондирования.

Пункты МТЗ	Диапазон периодов, с							
	1.0E-4÷ 1.0E-3	1.0E-3÷ 1.0E-2	1.0E-2÷ 1.0E-1	1.0E-1÷ 1.0E+0	1.0E+0÷ 1.0E+1	1.0E+1÷ 1.0E+2	1.0E+2÷ 1.0E+3	1.0E+3÷ 1.0E+4
ZB2-9M	1D	1D	1D	1D	3D	3D	3D	3D
ZB2-1M	1D	1D	1D	1D	0	0	3D/2D	3D/2D
ZB2-15M	1D	1D	1D	1D	0	0	3D	0
ZB2-19M	3D	1D	1D	1D	0	0	3D	0
ZB2-23M	1D	1D	1D	1D	0	0	3D	0
ZB2-27M	3D/1D2D	0	0	0	3D	3D	3D/1D2D	3D/1D2D
ZB2-33M	1D	1D	1D	3D	3D/2D	3D	3D/1D2D	0
ZB2-40M	1D	1D	1D	3D	3D	3D	3D	3D
ZB2-44M	1D	1D	1D	3D/2D	3D	3D	3D	3D
ZB2-49M	1D	1D	1D	1D	3D	3D	3D	3D
ZB2-53M	1D	1D	1D	1D	0	3D	3D	
ZB2-57M	1D	1D	1D	1D	3D	3D	3D/1D2D	3D/2D
ZB2-61M	1D	1D	1D	1D	3D	3D/2D	3D	3D
ZB2-68M	1D	1D	1D	0	3D/1D2D	3D	3D	3D
ZB2-75M	1D	1D	1D	1D	3D	3D	3D	0
ZB2-80M	1D	1D	1D	3D	3D	3D/1D2D	3D	3D
ZB2-84M	1D	1D	1D	3D	3D	3D/1D2D	3D	3D
ZB2-88M	1D	0	1D	0	0	3D/1D2D	3D	3D
ZB2-90M	0	0	3D	3D	0	3D/1D2D	3D/2D	3D/2D
ZB2-94M	1D	1D	1D	3D	3D	3D/1D2D	3D/1D2D	3D
ZB2-99M	1D	1D	1D	3D	3D	3D	3D/1D2D	3D/1D2D
ZB2-104M	0	0	0	3D	3D	3D	3D/1D2D	3D
ZB2-111M	1D	1D	1D	1D	3D	3D	3D/1D2D	0
ZB2-116M	1D	1D	1D	1D	3D	3D	3D	-
ZB2-117M	3D	0	0	1D	3D	3D	3D	0
ZB2-121M	-	3D/2D	3D	3D	0	3D/1D2D	3D/1D2D	3D/1D2D
ZB2-122M	1D	1D	1D	1D	3D	3D/1D2D	3D	3D
ZB2-123M	1D	1D	1D	1D	0	3D/1D2D	3D	3D
ZB2-124M	1D	1D	1D	0	3D	0	3D/1D2D	3D
ZB2-125M	2D	2D	2D	2D	0	3D	3D/1D2D	0
ZB2-126M	1D	1D	1D	1D	0	3D	3D/1D2D	0
ZB2-127M	1D	1D	1D	1D	3D	3D	3D/1D2D	0
ZB2-128M	2D	1D	1D	1D	3D	3D	3D	3D/1D2D
ZB2-130M	1D	1D	1D	1D	0	3D	3D	0

Примечание. 1D – одномерная среда; 2D – двумерная среда; 3D – трехмерная среда; 3D/2D – двумерная среда, находящаяся под воздействием гальванических искажений; 3D/1D2D – гальванические искажение над одномерными или двумерными структурами (без определения направления простирания структуры); 0 – не определено, прочерк – нет данных.

Аномальное поведение амплитудных и фазовых кривых наблюдается в восточной части профиля в районе пунктов МТЗ № 126–130, где отмечается значительное расхождение уровней низкочастотных ветвей амплитудных кривых. Начиная с пункта № 126, правая ветвь широтной кривой опускается по уровню сопротивления почти на один порядок, в пунктах № 127 и № 128 это расхождение достигает двух порядков, а пункте № 130 оно снова уменьшается до половины порядка. Данная ситуация в случае двумерной среды могла однозначно свидетельствовать о пересечении объекта с низким электрическим сопротивлением. Однако выполненный выше анализ данных показал, что кривые МТЗ в данных пунктах подвержены влиянию трехмерных неоднородностей. Поэтому подобное поведение кривых свидетельствует

о влиянии горста повышенного сопротивления. Об этом же свидетельствуют и фазовые кривые, которые сначала расходятся между собой, а затем в области длинных периодов снова сходятся. Подтверждением данной ситуации являются результаты моделирования, показанные на рис. 12.8 и 12.10 работы [1].

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Анализ магнитотеллурических параметров, показал, что кривые в диапазоне периодов $10^{-4} \div 1$ с соответствуют горизонтально-слоистому разрезу и могут быть проинтерпретированы в рамках одномерной (1D) модели. Интерпретация кривых МТЗ в диапазоне периодов $10^{-4} \div 10^0$ с проводилась с использованием программы MTS-Prof INV фирмы “Северо-Запад” (г. Москва). Программа предназначена для инверсии

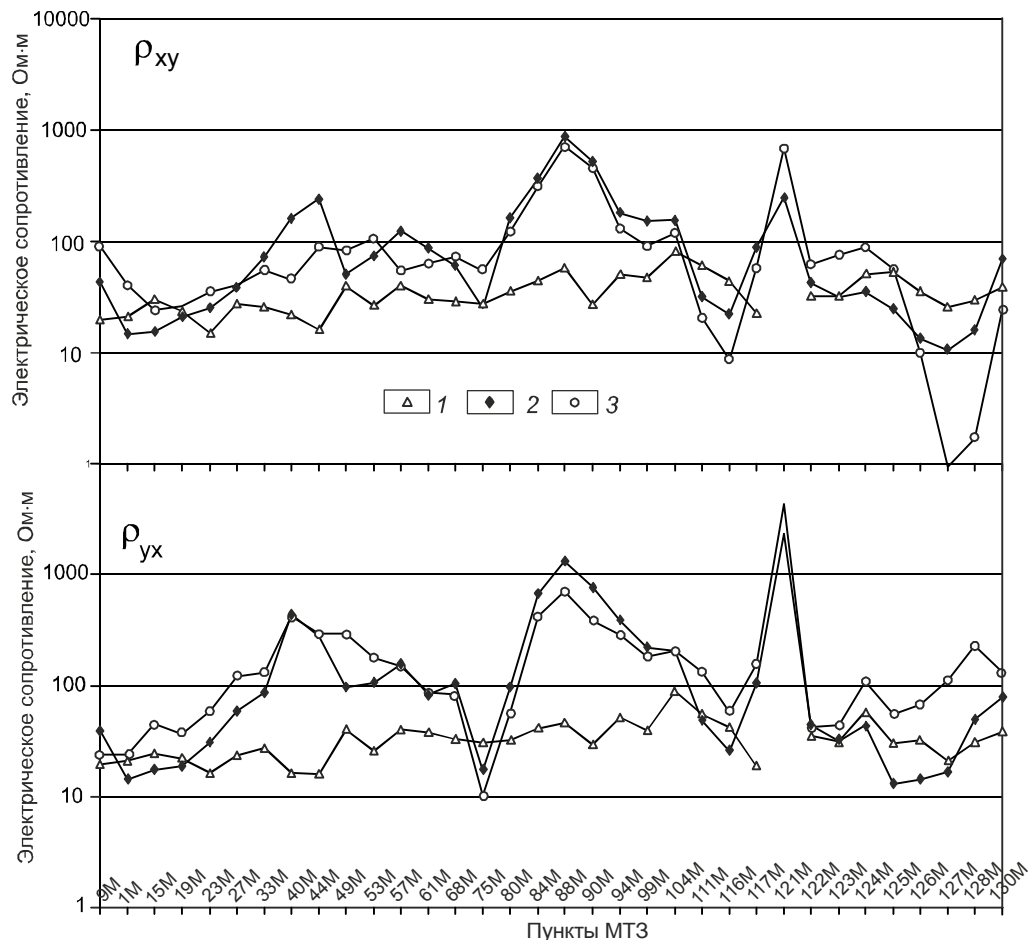


Рис. 4. Графики кажущегося электрического сопротивления по профилю с. Корфово–с. Новосергеевка для различных периодов.

1 – 0.001 с, 2 – 3.41 с, 3 – 857 с.

данных магнитотеллурических зондирований по профилю или площади. Инверсия основана на построении и последующей нелинейной минимизации общего функционала невязки в сочетании с эмпирико-эвристическими поправками в ходе минимизации. Расчеты проводились для участка профиля с. Корфово–с. Асташиха длиной 150 км, где зондирования проводились с шагом примерно 1 км, который позволяет наиболее детально изучить строение основных структурных элементов осадочного бассейна и поверхности его фундамента. В инверсии использовались 117 зондирований.

На рис. 5 а показано распределение удельного электрического сопротивления до глубины 3 км. По петрофизическим данным, полученным ранее различными геолого-геофизическими организациями и обобщенными А.П. Сорокиным (Институт геологии и природопользования ДВО РАН г. Благовещенск) с коллегами из ФГУПП “Амургеология” в 2006 г., удельное электрическое сопротивление осадочных

образований бассейна в основном колеблется от первых единиц Ом·м до первых десятков Ом·м. Повышенными значениями электрического сопротивления до первых сотен Ом·м характеризуются базальты и кислые эффузивы итикутской свиты, а также конгломераты поярковской свиты, хотя их минимальные значения составляют первые десятки Ом·м. Электрическое сопротивление пород фундамента отмечается большей дифференциацией. Кварциты и пегматиты имеют сопротивление в первые тысячи Ом·м, кварцевые порфиры, базальты и граниты – первые сотни Ом·м, а выветрелые граниты, гранит-порфиры, гнейсы, туфобрекчии – первые десятки Ом·м. Приняв условно величину в 30 Ом·м за максимальное значение сопротивления осадочных образований бассейна, а соответствующую изолинию – за подошву этого слоя, оценим их примерную мощность в пределах профиля.

Мощность верхнего слоя низкого сопротивления по изолинии 30 Ом·м варьирует вдоль профиля в широких пределах от примерно 1.5 км в грабенах до

менее 100 м над горстами. Профилем с запада на восток пересечены Лермонтовский грабен с максимальной мощностью этого слоя около 1.5 км, Новопетровский грабен – 0.8 км, Михайловский – 1.5–1.7 км, Асташихинский – 1.5–1.7 км. Строение верхнего слоя в основном относительно однородное, за исключением центральной части, где между пунктами МТЗ № 69–79 выделяется зона повышенных сопротивлений от 50 до 200 Ом·м в верхней части разреза. Наиболее контрастно эта зона проявлена в районе пункта МТЗ № 69. На фоне преобладающего низкого электрического сопротивления менее 10 Ом·м, в верхней части разреза выделяется область относительно повышенного сопротивления примерно от 10 до 20 Ом·м, которая простирается с запада на восток, начинаясь у поверхности и плавно погружаясь на глубину около 200 м к середине профиля (МТЗ № 67). Она имеет разрывы возможно из-за слабой дифференциации электрического сопротивления слагающих ее пород с вмещающими толщами. Возможно, что далее на восток эта область вновь начинает воздыматься, приближаясь к дневной поверхности, но на геoeлектрическом разрезе это выражено не отчетливо, как и на кривых МТЗ.

Фундамент бассейна имеет сложное и неоднородное строение. Согласно петрофизическим данным, его электрическое сопротивление превышает 100 Ом·м. В этом случае мощность осадочного чехла в наиболее погруженных частях бассейна может достигать 3–4 км. На геoeлектрическом разрезе (рис. 5 а) отчетливо видно различие в строении грабенов, пересеченных профилем. Лермонтовский и Новопетровский грабены, расположенные в западной части профиля, характеризуются пологими бортами. Асташихинский прогиб, совместно с Куприяновским, расположенные в восточной части профиля, имеют пологий западный склон и крутое погружение фундамента в краевой части профиля, Михайловский грабен, расположенный в центральной части разреза, выделяется крутыми бортами. Электрическое сопротивление фундамента также различно в разных частях бассейна. На глубине 3 км под прогибами оно составляет первые сотни Ом·м, тогда как поднятия выражены блоками высокого сопротивления в первые тысячи Ом·м.

Кривые в диапазоне периодов, превышающем 1 с, отражают наличие сложнопостроенного асимметричного разреза с преобладанием трехмерных неоднородностей и подвержены влиянию S-эффекта. Для уменьшения влияния S-эффекта и получения более корректной информации о глубинной части геoeлектрического разреза выполнена коррекция амплитудных кривых на максимальном периоде, имею-

щемся на всех кривых, равном 857 с, который соответствует выполненным ранее оценкам. Для инверсии использовались средние кривые, рассчитанные для каждого пункта зондирования:

$$\rho_{MN} = \sqrt{\rho_{xy} \cdot \rho_{yx}} \quad (4)$$

Инверсия МТЗ кривых в диапазоне периодов свыше 1 с проводилась для средних кривых с помощью программы MTS-Prof по профилю с. Корфово–с. Асташиха–с. Новосергеевка длиной 200 км. В инверсии использовалось 34 зондирования. Для построения геoeлектрического разреза предварительно оценим глубину проникновения электромагнитного поля по формуле (1). Для оценки возьмем максимальный период равным 1000 с, который есть на большинстве кривых за исключением МТЗ № 116, где он равен 857 с. Из рис. 2 видно, что большая часть амплитудных кривых расположена в диапазоне сопротивлений 10÷1000 Ом·м, а их низкочастотные ветви группируются в районе 100 Ом·м. Приняв условно эту величину за значение интегрального сопротивления Земли в пределах профиля, получим глубину проникновения электромагнитного поля, равную 158 км. Для подавления S-эффекта предварительно выполним коррекцию амплитудных кривых на периоде 857 с, имеющемся на всех кривых. В результате инверсии был построен геoeлектрический разрез до глубины 150 км (рис. 5 б).

Геoeлектрический разрез (рис. 5 б) характеризуется относительно простым строением и представлен чередованием областей различного сопротивления и разной мощности. Верхняя часть разреза до глубины примерно 40 км имеет высокое сопротивление – свыше 10000 Ом·м, которое в основном незначительно изменяется вдоль профиля. Тем не менее, можно выделить несколько пунктов, под которыми отмечается утонение ее мощности и нарушение сплошности верхнего слоя. С запада на восток это районы МТЗ № 1–19, № 75, № 116 и № 125–128. В пунктах № 40–49 происходит лишь утонение мощности верхнего слоя примерно на 5 км. Наиболее обширное нарушение сплошности верхнего слоя отмечается в восточной части профиля в пунктах № 125–128, где уменьшение сопротивления отмечается до глубины 10–15 км. Такие же глубины отмечаются и под другими отмеченными пунктами, но они имеют меньшее латеральное распространение.

Верхняя высокоомная часть геoeлектрического разреза подстилается тонкой, мощностью 5–10 км, областью низкого сопротивления 10–30 Ом·м. Она неоднородна и иногда прорывается участками повышенного сопротивления до 100 Ом·м. Под этой проводящей областью расположена область повышенного со-

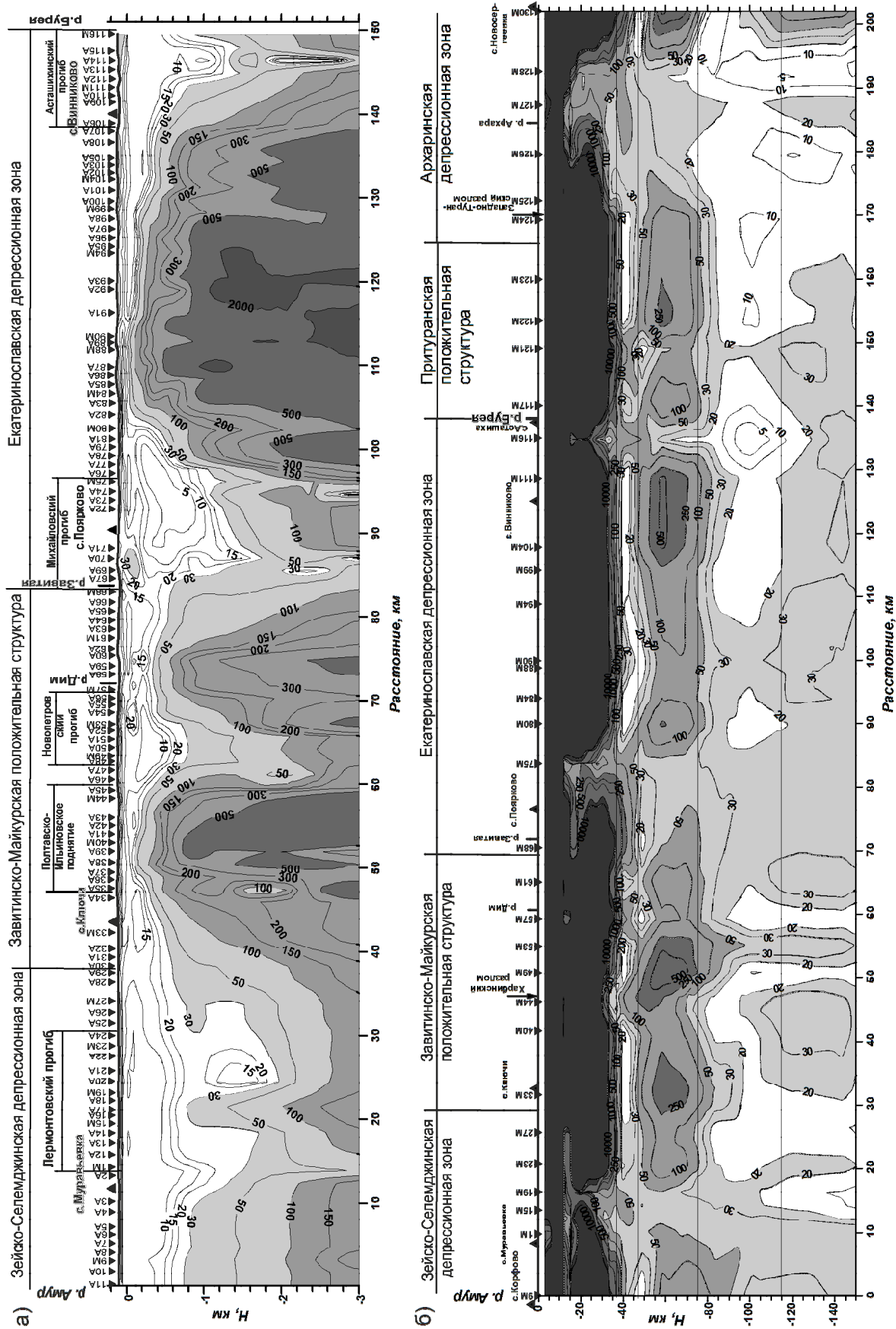


Рис. 5. Геоэлектрические разрезы.

а – по профилю с. Корфово–с. Асташиха до глубины 3 км, б – по профилю с. Корфово–с. Асташиха до глубины 150 км. Перевернутые треугольники – пункты МТЗ и их номера. Изолинии с цифрами – удельное электрическое сопротивление в Ом·м. Отличие горизонтальных масштабов для обоих разрезов связано с разными начальными пунктами и более длинной линией проектируемого профиля, выполненного по методике АМТЗ.

противления от первых сотен до тысячи Ом·м. Нижняя ее граница залегает на глубине 75–80 км, а мощность составляет около 30 км. Эта область также неоднородна и прорывается более низкоомными зонами, положение которых совпадает с неоднородностями, выделенными в низах высокоомной области верхней части геoeлектрического разреза.

В основании разреза залегает область низких сопротивлений с фоновыми значениями 20–30 Ом·м. Несмотря на незначительную дифференциацию сопротивлений в нижней части разреза, можно отметить, что в восточной части профиля отмечается обширная зона низкого электрического сопротивления менее 20 Ом·м, которая, воздымаясь снизу под Архаринской депрессионной зоной к подошве второго слоя повышенного сопротивления, простирается на запад до МТЗ № 75 в пределах глубин 85–120 км. Подобная картина наблюдается и в области сочленения Зейско-Селемджинской депрессионной зоны и Завитинско-Майкурской положительной структуры, но с более сложным распределением электрического сопротивления и с простираем с запада на восток. Под западной частью бассейна на этих глубинах отмечается незначительное увеличение сопротивления до 50 Ом·м. Под центральной частью бассейна, охватывающей Екатеринославскую депрессионную зону, Завитинско-Майкурскую и Притуранскую положительные структуры, глубже примерно 120 км, отмечается область незначительного повышения сопротивлений от 20 до 50 Ом·м.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Основной целью данных исследований было детальное изучение осадочного чехла, земной коры и верхней мантии южной российской части бассейна. Анализ различных магнитотеллурических параметров подтвердил относительно однородное геoeлектрическое строение осадочного чехла и возможность вести интерпретацию в рамках одномерной модели. Горизонтально-слоистое строение чехла бассейна подтверждается и результатами бурения [2].

Наибольший объем АМТЗ был выполнен в Лермонтовском прогибе (рис. 5 а), результаты которых не только подтвердили его строение, установленное в 60-е годы прошлого столетия по геолого-геофизическим данным [2], но и уточнили его. Согласно результатам работ [2, 12], Лермонтовский прогиб четко замыкается лишь по изогипсе -2500 м, а по более высоким изогипсам он уходит на территорию Китая, хотя уже в 1968 г. в работе [13] показано замыкание Лермонтовского прогиба по изогипсе -500 м. Результаты АМТЗ подтверждают выводы [14], показывая уменьшение глубины фундамента от центра Лермон-

товского прогиба к его южной части от 3 км до 0.5 км. Кроме этого по результатам АМТЗ показано детальное строение подошвы фундамента прогиба вдоль профиля. Относительно пологое и однородное строение фундамента южной части прогиба сменяется сложным в его центральной части, представленным чередованием горстов и грабенов.

Завитинско-Майкурская положительная структура отмечается поднятием фундамента, разбитого на два блока, между которыми располагается Новопетровский прогиб.

Екатеринославская депрессионная зона на геoeлектрическом разрезе (рис. 5 а) представлена выступом фундамента до глубины около 100 м, ограниченным с обеих сторон прогибами – Михайловским, с запада, и Асташихинским, с востока. Наиболее сложным строением в пределах профиля отмечается область сочленения Завитинско-Майкурской положительной структуры с Екатеринославской депрессионной зоной, где расположен Михайловский прогиб. Михайловский прогиб при ширине около 10 км достигает глубины 2 км и характеризуется крутыми бортами, особенно западный. Кроме этого на западном борту прогиба в его верхней части выделяется зона повышенного сопротивления, которая соответствует Дубовскому локальному поднятию фундамента [2]. Такое же повышение электрического сопротивления отмечалось и ранее [9] в районе пункта МТЗ № 10 (рис. 1). Следует отметить, что сопротивление пород фундамента под Екатеринославской депрессионной зоной выше, чем в Завитинско-Майкурской положительной структуре, и составляет 500–3000 Ом·м против 300–1000 Ом·м, соответственно. Наименьшее электрическое сопротивление наблюдается в Михайловском прогибе, где выделяется аномалия с сопротивлениями менее 5 Ом·м, погружающаяся с востока на запад, в разрезе профиля, с глубины ~200 м (МТЗ № 78–79) до ~1 км (МТЗ № 71–72).

Строение литосферы на юге Амуро-Зейского осадочного бассейна (рис. 5 б) характеризуется относительно простым строением. Верхняя высокоомная часть разреза, мощностью около 40 км, соответствует мощности земной коры, которая по сейсмическим данным составляет 38–42 км [6]. В подошве земной коры почти непрерывно прослеживается слой низкого сопротивления мощностью 5–10 км, который подстилается слоем повышенного сопротивления до глубины 75–80 км, ниже которого до основания разреза залегает относительно однородная низкоомная верхняя мантия. По сейсмическим данным выделяются две-три границы в интервале глубин 60–80 км [6]. Вероятно граница подо-

швы второго слоя повышенного сопротивления на глубине 75–80 км соответствует подошве литосферы.

Глубже 80 км (рис. 5 б) каких-либо резких границ и перепадов электрического сопротивления не наблюдается, хотя можно отметить незначительное увеличение электрического сопротивления под центральной частью бассейна с глубин 115–120 км. Характер распределения электрического сопротивления на профиле с. Корфово–с. Новосергеевка примерно соответствует геоэлектрическому разрезу по профилю г. Благовещенск–п. Биракан [9]. На обоих разрезах выделяется высокоомная земная кора с подстилающим ее проводящим слоем, затем второй слой повышенного сопротивления с подстилающей его верхней мантией пониженного сопротивления, имеющей более низкие значения в краевых частях бассейна и повышенные – под его центральной частью.

По незначительному количеству измерений тепловой поток в бассейне колеблется от 40 до 47 мВт/м² [4]. По оценкам И.К. Туезова [20], выполненным на основании экспериментальных данных, глубина до кровли мантии примерно будет соответствовать имеющимся значениям теплового потока. Мощность литосферы по геотермическим расчетам составляет 130–145 км [5]. Выполним оценку мощности земной коры и литосферы по эмпирической формуле из работы [22], связывающей эти параметры с величиной теплового потока, $h=h_0q^a$, где h – глубина залегания проводящего слоя, h_0 – численный параметр, равный 35 км для нижнекорового проводящего слоя и 155 км – для астеносферы, q – величина теплового потока в единицах НФУ (1НФУ \approx 42мВт/м²), a – численный параметр, равный 1.30 для нижнекорового проводника и 1.46 – для астеносферы. При средней величине теплового потока для южной части бассейна 44 мВт/м², глубина до нижнекорового проводящего слоя должна составлять 33 км, а мощность литосферы – 145 км.

С другой стороны, при мощности земной коры, равной 40 км, величина теплового потока должна составлять 38 мВт/м², а мощность литосферы увеличится до 179 км. Из расчетов видно, что полученные значения мощностей коры и литосферы отличаются от таковых на сейсмических и геоэлектрических разрезах. Можно предположить, что предложенная формула расчета неверна, но выполненные ранее оценки для Среднеамурского осадочного бассейна [8] и Верхнеамурского района [7] показали хорошее соответствие результатов расчетов с сейсмическими и геоэлектрическими данными. Тем более, что величины мощности литосферы по данной формуле и геотермическим расчетам совпадают. В данном случае воз-

можно предположить, что глубинность выполненных магнитотеллурических зондирований не позволяет нам определить подошву литосферы. Однако остается несоответствие в определении мощности земной коры. Объяснением данного противоречия может быть изменение геотермического режима бассейна в процессе его развития. Возможно, что на этапе рифтообразования произошла переработка литосферы, вследствие чего она стала более низкоомной по сравнению с сопредельными территориями [9], но впоследствии или изменились геодинамические условия, или не хватило энергетических возможностей самого источника, что привело к наличию остатков непереработанной литосферы и утолщенной земной коры.

Большое значение в развитии Амуро-Зейского осадочного бассейна как рифтогенной структуры имеют разломы. Согласно тектонической схеме (рис. 1), составленной по работе [19], профилем пересечено два главных разлома – Харбинский и Западно-Туранский. На геоэлектрическом разрезе (рис. 5 б) Харбинский разлом отмечается неоднородным строением верхней мантии и локальным подъемом подкорового проводящего слоя до примерно 35 км. Западно-Туранский разлом расположен на стыке Притуранской положительной структуры и Архаринской депрессионной зоны, характеризуется подъемом проводящего слоя до 35 км и обширной областью низкого сопротивления в нижней части. В связи с тем, что из-за перекрытия осадочным чехлом положение разлома определено условно, вероятно, что его положение может быть восточнее по профилю в районе р. Архара, где отмечается обширная область пониженного сопротивления, достигающая средней части земной коры. Помимо отмеченных выше разломов, на геоэлектрическом разрезе имеются геоэлектрические аномалии, которые могут быть сопоставлены с другими разломами различной природы. Например, аномалии пониженного сопротивления в земной коре расположены под наиболее погруженными частями Михайловского и Лермонтовского прогибов. Последнему соответствует, как отмечено на геологической карте Приамурья [3], Лермонтовско-Белогорская зона разломов. Коровая аномалия на границе Екатеринославской депрессионной зоны и Притуранской положительной структуры (МТЗ № 116) имеет локальный характер и, вероятно, является межблоковой границей.

ВЫВОДЫ

Впервые выполнены детальные магнитотеллурические зондирования на юге Амуро-Зейского осадочного бассейна по профилю с. Корфово–с. Новосергеевка. Построены геоэлектрические разрезы до

глубины 3 км по профилю с. Корфово–с. Асташиха и до глубины 150 км по профилю с. Корфово–с. Новосергеевка. Определена мощность осадочного чехла, достигающая 1.5–1.7 км в грабенах бассейна. В фундаменте выделены блоки различного сопротивления, установлено соответствие выделенных структур имеющимся структурным схемам бассейна. Полученные данные согласуются с результатами бурения.

Земная кора бассейна в пределах профиля имеет высокое удельное электрическое сопротивление свыше 1000 Ом·м. В основании земной коры расположен слой низкого удельного электрического сопротивления 20–30 Ом·м мощностью 5–10 км. По контрастной смене электрических сопротивлений определена мощность земной коры, которая составляет 38–40 км. Ее величина согласуется с мощностью земной коры, установленной по сейсмическим данным.

Геоэлектрический разрез верхней мантии бассейна имеет относительно простое горизонтально-слоистое строение. На фоне ее низких электрических сопротивлений 20–30 Ом·м в диапазоне глубин 50–80 км выделен слой повышенного сопротивления от первых сотен до тысячи Ом·м. Этот слой не является сплошным, а разделен на блоки зонами пониженного сопротивления, проникающими в среднюю часть земной коры. Эти зоны соответствуют разломам различной природы.

Оценки мощностей земной коры и литосферы и величины теплового потока показали их несоответствие. Сделано предположение о смене геотермического режима бассейна в период его развития из-за изменения геодинамических условий. Данные изменения произошли на пострифтовых этапах развития бассейна.

Проведенные исследования подтверждают, что перспективы южной части Амуро-Зейского бассейна на обнаружение нефти и газа могут быть связаны с отдельными грабенами, такими как Лермонтовский, Михайловский, Асташихинский, Архаринский. Наибольшие перспективы, по мнению автора, имеются в Архаринской депрессионной зоне.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор благодарен член-корр. РАН А.П. Сорокину за помощь и поддержку в осуществлении данных исследований, а также сотрудникам Института геологии и природопользования Дальневосточного отделения РАН (г. Благовещенск) к.т.н. М.А. Серову и В.С. Жижерину, оказавшим помощь при проведении полевых работ. Автор благодарит д.г.-м.н., профессора А.В. Поспеева и к.г.-м.н. В.М. Никифорова за высказанные замечания, которые позволили значительно улучшить качество выполненной работы.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ 10-05-10014-к, РФФИ 12-05-91158-ГФЕН_а, ДВО РАН 12-III-A-08-187.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Модели и методы магнитотеллурики. М.: Науч. мир, 2009. 680 с.
2. Бернштейн Г.Л., Волхонин В.С., Горбачев И.Ф. и др. Геологическая структура Зее-Буреинской впадины по результатам региональных геолого-геофизических работ / Геофизические исследования при решении геологических задач в Восточной Сибири. Вып. 4. М.: Недра, 1970. С. 271–300.
3. Геологическая карта Приамурья и сопредельных территорий. 1: 2 500 000: Объясн. зап. СПб-Благовещенск-Харбин, 1999. 135 с.
4. Глубинное строение и металлогения Восточной Азии / Отв. ред. А.Н. Диденко, Ю.Ф. Малышев, Б.Г. Саксин. Владивосток: Дальнаука, 2010. 332 с.
5. Горнов П.Ю., Веселов О.В., Гильманова Г.З. Геотермические характеристики Охотско-Японского региона. Тектоника, магматизм и геодинамика Востока Азии. Хабаровск: ИТиГ им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, 2011. С. 254–257.
6. Золотов Е.Е., Ракитов В.А. Структура литосферы Приамурья по данным МОВЗ-ГСЗ // Региональная геология и металлогения. 2000. № 2. С. 236–240.
7. Каплун В.Б. Геоэлектрическое строение Верхнеамурского района по данным магнитотеллурических зондирований // Тихоокеан. геология. 2006. Т. 25, № 4. С. 33–53.
8. Каплун В.Б. Геоэлектрический разрез литосферы центральной части Среднеамурского осадочного бассейна по данным магнитотеллурических зондирований (Дальний Восток) // Тихоокеан. геология. 2009. Т. 28, № 2. С. 86–98.
9. Каплун В.Б. Геоэлектрический разрез литосферы Амуро-Зейского осадочного бассейна по профилю МТЗ г. Благовещенск–п. Биракан // Тихоокеан. геология. 2012. Т. 31, № 2. С. 41–53.
10. Кириллова Г.Л. Сравнительная характеристика внутриконтинентальных рифтовых бассейнов Восточной Азии: Сунляо и Амуро-Зейский // Тихоокеан. геология. 1994. № 6. С. 33–54.
11. Кириллова Г.Л. Позднемезозойские-кайнозойские осадочные бассейны континентальной окраины юго-восточной России: геодинамическая эволюция, угле- и нефтегазоносность // Геотектоника. 2005. № 5. С. 62–82.
12. Лишневецкий Э.Н., Степанов П.П. Основные черты тектоники центральной и южной частей Зее-Буреинской депрессии // Геология и геофизика. 1963. № 5. С. 117–122.
13. Лишневецкий Э.Н. О строении поверхности фундамента Нижнезейской впадины // Геотектоника. 1968. № 5. С. 62–71.
14. Мишенькин Б.П., Мишенькина З.Р., Анненков В.В. Глубинное сейсмическое зондирование на Буреинском массиве // Геология и геофизика. 1987. № 10. С. 98–107.
15. Поспеев А.В. Электропроводность земной коры и мантии по профилю Чара–Ванино // Тихоокеан. геология. 1987. № 6. С. 109–112.
16. Потапов С.В. Соотношение поверхностной и глубинной структуры земной коры Приамурья и Приморья // Глубин-

- ное строение литосферы Дальневосточного региона (по геофизическим данным). Владивосток, 1979. С. 43–53.
17. Сорокин А.П., Готов В.Д. Золотоносные структурно-вещественные ассоциации Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 1997. 304 с.
 18. Сорокина А.Т., Каплун В.Б., Попов А.А., Серов М. А. Опыт комплексирования геофизических и газо-геохимических методов для изучения глубинного строения южной части Зейско-Буреинского бассейна // Вестн. ДВО. 2011. Т. 157, № 3. С. 52–55.
 19. Тектоника, глубинное строение, металлогения области счленения Центральноазиатского и Тихоокеанского поясов: Объясн. зап. к Тектонической карте 1:1500000. Владивосток, Хабаровск: ДВО РАН, 2005. 264 с.
 20. Туезов И.К. Геоэлектрический разрез литосферы и астеносферы Северо-Восточной Азии и прилегающих частей Тихого океана. Владивосток: Дальнаука, 1994. 300 с.
 21. Шатков Г.А., Бабаев А.О., Максимовский В.А., Пуринг В.В. Тафrogenный комплекс Амуро-Зейской депрессии и перспективы его рудоносности // Тихоокеан. геология. 1984. № 3. С. 54–67.
 22. Adam A. Geothermal effects in the formation of electrically conducting zones and temperature distribution in the earth // Phys. Earth Planet. Inter. 1978. V. 17. P. 21–28.
 23. Marti A., Queralt P., Ledo J. WALDIM: A code for the dimensionality analysis of magnetotelluric data using the rotational invariants of the magnetotelluric tensor // Computers & Geosciences, 2009. V. 35. P. 2295–2303.

Рекомендована к печати Ю.Ф. Малышевым

V.B. Kaplun

Geoelectrical section of the lithosphere of the southern Amur-Zeya sedimentary basin from results of magnetotelluric soundings

Magnetotelluric soundings are carried out in the Amur-Zeya sedimentary basin along 200 km long profile KorfovoAstashikha-Novosergeevka. The profile is located in the southern part of the basin and does not overcome its borders. The audiomagnetotelluric (AMT) soundings were conducted in the profile section KorfovoAstashikha at 1-km spaced observation sites, whereas in the section Korfovo-Novosergeevka combined AMT+MTS soundings were carried out at 5-km spaced observation sites.

The magnetotelluric analysis of the data, characterizing the section, has been performed including MTS curve shapes and their variation along the profile, the shape of the main and additional impedance polar diagrams, the inhomogeneity parameter N values and those of asymmetry parameter, or skewness values. The dimensions of the geological medium have been estimated and the methods of magnetotelluric data interpretation have been chosen. The geoelectrical sections have been constructed down to 3 km and 150 km depths. The sedimentary cover and the crustal and upper mantle structures have been studied and their electrical properties have been determined. The thickness of the sedimentary cover reaches 1.5–1.7 km in the grabens of the basin. The blocks with different resistivity values were defined in the basement. The crustal thickness attaining to 3840 km was revealed from a contrasting alternation of electrical resistivity values. This crustal thickness value is consistent with that derived from seismic data. The geoelectrical section of the upper mantle of the basin has a relatively simple structure. A high resistivity layer with the values from the first hundreds to one thousand Ohm m was detected at a 50–80 km depth range against the background of low electrical resistivity values of 20–30 Ohm m observed within the mantle. This layer is not continuous but is divided into blocks by the low resistivity zones penetrating into the middle crust. These zones correspond to differently originated faults.

The prospects of oil and gas content have been estimated for separate grabens of the basin.

Key words: magnetotelluric soundings, deep structure, lithosphere, Amur-Zeya sedimentary basin, Far East.