

ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РАЗРЕЗЫ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО БОРТА СРЕДНЕАМУРСКОГО  
ОСАДОЧНОГО БАССЕЙНА (ДАЛЬНИЙ ВОСТОК) ПО ДАННЫМ  
МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ ЗОНДИРОВАНИЙ

*В.Б. Каплун*

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

Поступила в редакцию 6 марта 2014 г.

По данным магнитотеллурических зондирований (МТЗ), выполненных на северо-западном борту Среднеамурского осадочного бассейна по трем профилям вкрест его простирания, построены геоэлектрические разрезы до глубин 3 и 6 км. По результатам интерпретации МТЗ, с привлечением данных сейсмических (МОВ-ОГТ), электроразведочных (ВЭЗ, ДНМЭ) методов и бурения, построены комплексные геолого-геофизические разрезы. В результате получено представление о строении осадочного чехла и фундамента, выделены аномальные области, определены их электрические свойства.

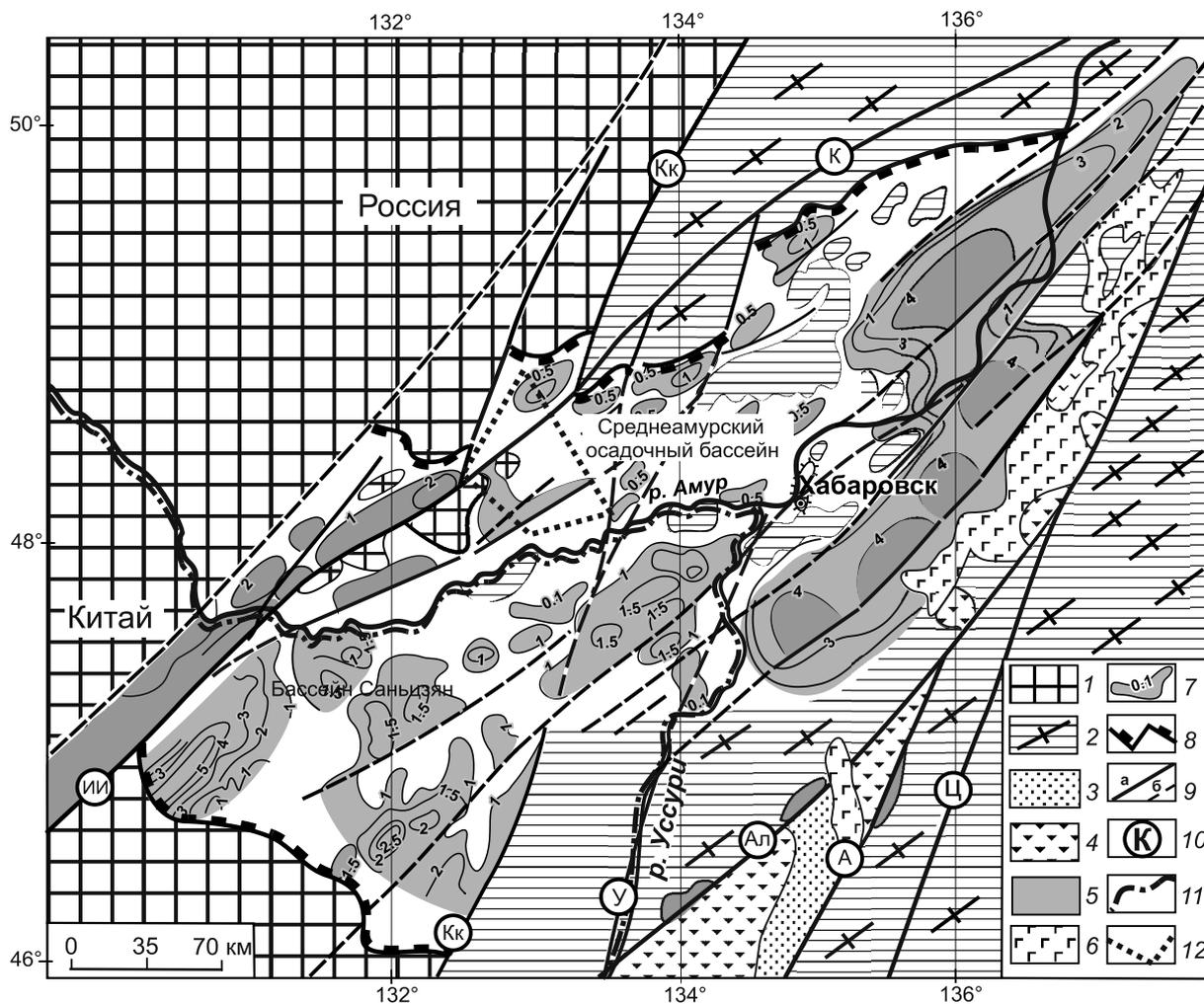
**Ключевые слова:** магнитотеллурическое зондирование, глубинное строение, Среднеамурский осадочный бассейн, Дальний Восток.

**ВВЕДЕНИЕ**

Среднеамурский осадочный бассейн (САОБ) расположен в среднем течении р. Амур и низовьях его притоков р. Усури и р. Сунгари. Бассейн вытянут в северо-восточном направлении до 600 км и достигает в ширину 250 км. Он является одним из крупных бассейнов континентальной части юга Дальнего Востока, его площадь составляет 63500 км<sup>2</sup>. Рельеф бассейна выровненный, с абсолютными отметками 30–100 м. Местами возвышаются горные массивы высотой 700–900 м – хребты Б. Хехцир, Б. Чурки, Вандан. САОБ является крупной депрессией, наложенной на область сочленения двух тектонических поясов – Центрально-Азиатского и Тихоокеанского. Фундамент бассейна имеет блоковое строение и представляет собой сложную систему горстов и грабенов, погребенную под неогеновым осадочным чехлом [2]. Строение осадочного чехла бассейна изучено различными геолого-геофизическими методами, хотя и недостаточно полно. Результаты обобщены и систематизированы в монографии [9]. Большую роль в строении северо-западного борта САОБ играет Курский (Ишу-Харпийский) разлом Илань-Итунской ветви системы разломов Тан-Лу, с которым связывается цепочка грабенов – Лобэйский, Самарско-Дитурский, Преображенковский, Бирофельдский. Простирание

этой системы северо-восточное и совпадает с простиранием бассейна. Юго-восточнее, параллельно простиранию грабенов расположено Ульдура-Чуркинское поднятие, представленное в рельефе горными хребтами Даур, Б. Чурки, Ульдура, разделенными межгорными седловинами. Далее к юго-востоку от поднятий расположена другая цепочка грабенов северо-восточного простирания – Башмакский, Морилонецкий, Надеждинский. Вся эта структура ограничивается с юга и юго-востока р. Амур. Основные притоки р. Амур на данной территории реки – Самара, Биджан, Морилочиха, Бира – имеют северо-северо-западное простирание. Здесь же, согласно схеме геолого-структурного районирования [5], расположена граница, разделяющая Буреинский массив и Сихотэ-Алинский орогенный пояс, соответствующая Куканскому [3], или Уликинскому разлому [5] (рис. 1). Простирание разлома – субмеридиональное.

Целью данных исследований было детальное изучение строения осадочного чехла и фундамента северо-западной части САОБ методом магнитотеллурического зондирования (МТЗ). В данной работе обсуждаются результаты МТЗ по профилям: г. Биробиджан – с. Головино (БГ6), длиной 60 км, с. Бирофельд – р. Морилочиха (БГ5), длиной 34 км, и на Димитровском поднятии Бирофельдского грабена (БГ4),



**Рис. 1.** Схема строения Среднеамурского осадочного бассейна и сопредельных территорий, по [11], с упрощениями.

1 – Цзямусы-Буреинский массив (докембрийские кристаллические породы); 2 – Сихотэ-Алинская чешуйчато-складчатая система (простираения структур показаны штрихами), сложенная юрско-меловыми преимущественно терригенными отложениями и, реже, палеозой-раннемезозойскими кремнисто-терригенными образованиями; 3–4 – позднемезозойские осадочные отложения (3) и вулканогенно-осадочные отложения (4); 5–6 – кайнозойские осадки (5) и неоген-четвертичные базальты (6); 7 – изопахиты осадочного чехла; 8 – генерализованные границы бассейна; 9 – региональные разломы (а), перекрытые (б); 10 – названия разломов: Ц – Центральный Сихотэ-Алинский, А – Арсеньевский, У – Уссурийский, Кк – Куканский, ИИ – Илань-Итун, К – Курский, Ал – Алчанский; 11 – государственная граница; 12 – район исследований.

длиной 10 км (рис. 2). Профили простираются с северо-запада на юго-восток, расстояние между ними составляет 15–20 км.

**МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Измерения электромагнитного поля выполнены по профилям, располагающимся вкрест простираения бассейна, с шагом 1 км (рис. 2). Зондирования проводились с использованием цифровой 24-разрядной станции MTU-5A и магнитными индукционными датчиками МТС-30 и МТС-50, производства фирмы Phoenix (Канада). Длина электрических линий составляла 70 м. Установка датчиков и прокладка линий осуществлялась в направлениях – юг–север

(Х-компонента), запад–восток (Y-компонента). Во всех пунктах регистрация естественного электромагнитного поля Земли проводилась в диапазоне частот  $10^4$  Гц÷1Гц (режим АМТ), а каждое пятое или шестое – в расширенном частотном диапазоне  $10^4 ÷ 10^{-3}$  Гц (режим АМТ+МТЗ). После регистрации на точке осуществлялся визуальный контроль качества полевой записи и ее предварительная обработка с использованием программного пакета SSMT2000. При необходимости производился повторный замер. В результате были получены кондиционные полевые материалы, за исключением отдельных зондирований, которые были подвержены влиянию промышленных помех от близлежащих населенных пунктов.

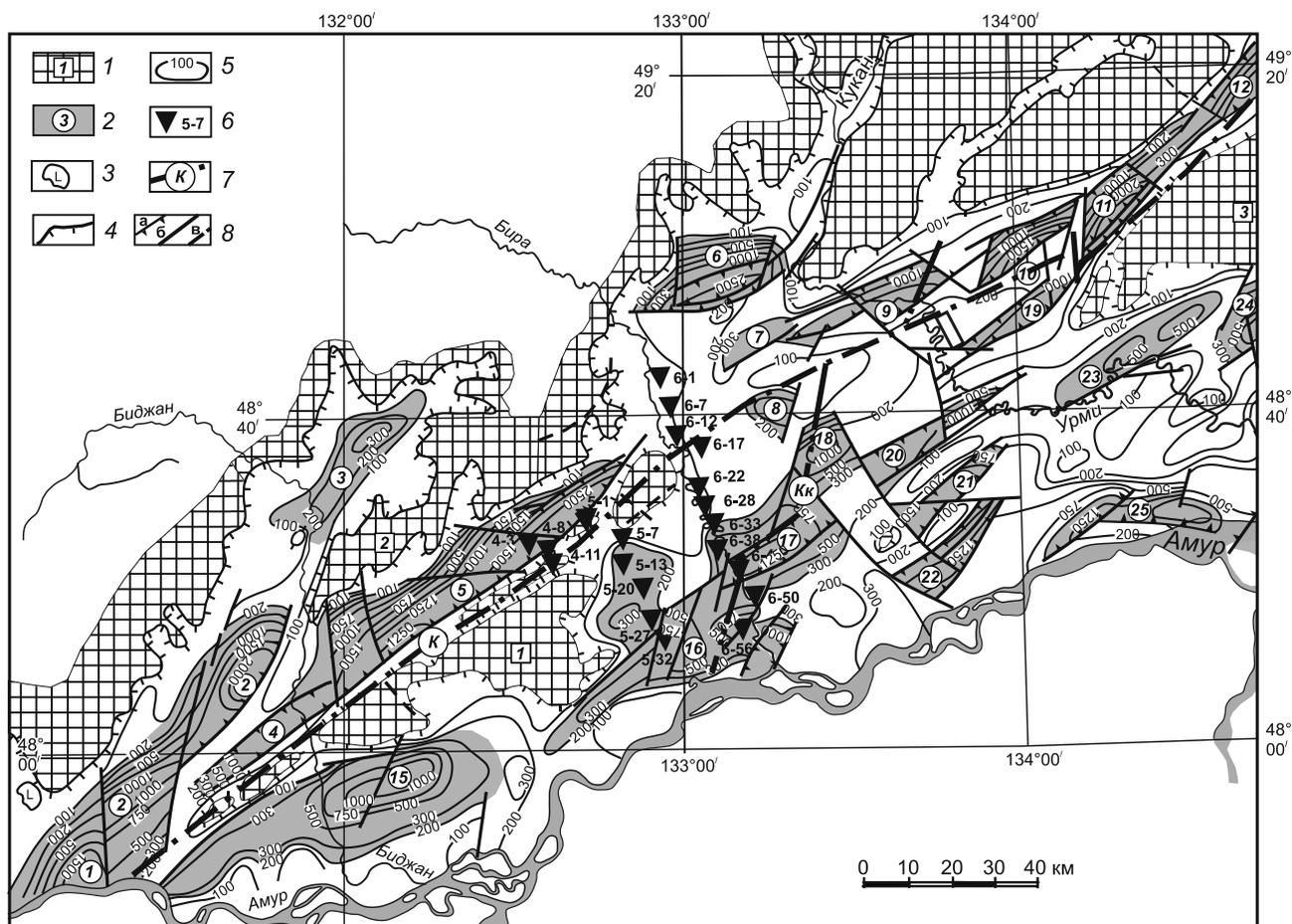


Рис. 2. Структурная схема Среднеамурского осадочного бассейна, по (Кузнецов, Уралов, 1996) (фрагмент).

*l* – поднятие и его номер: 1 – Ульдура-Чуркинское, 2 – Шуки-Поктойское, 3 – Вандано-Горбылякское; 2 – грабены, по [9]: 1 – Лобэйский, 2 – Самарско-Дитурский, 3 – Тайменский, 4 – Преображенковский, 5 – Бирофельдский, 6 – Биробиджанский, 7 – Аурский, 8 – Верхнеинский, 9 – Волканский, 10 – Иванковецкий южный, 11 – Иванковецкий северный, 12 – Кафэнский, 15 – Башмакский, 16 – Морилловецкий, 17 – Надежденский, 18 – Ольский, 19 – Уликанский, 20 – Инский, 21 – Петровский, 22 – Луговойской, 23 – Евгеньевский, 24 – Архангеловский, 25 – Нижеспасский; 3 – неоген-четвертичные базальты; 4 – граница бассейна; 5 – изогипсы мощности осадочного чехла в метрах; 6 – пункты МТЗ: первая цифра – номер профиля, вторая – номер пункта; 7 – основные разломы: К – Курский, Кк – Куканский; 8 – разломы: а – сброс амплитудой больше 500 м, б – сброс амплитудой меньше 500 м, в – прочие;

Окончательная обработка полевых материалов осуществлялась в камеральных условиях с использованием программы Corrector («Северо-Запад», Москва). С помощью данной программы производилось удаление выбросов отдельных значений и сглаживание импедансных кривых МТЗ.

#### АНАЛИЗ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Для анализа магнитотеллурических данных использовались пространственные характеристики тензора импеданса: полярные диаграммы основного и дополнительного импедансов, значения параметров неоднородности – *N* и асимметрии – *skew* [1]:

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

$$skew = |(Z_{xx} + Z_{yy}) / (Z_{xy} - Z_{yx})|,$$

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

Форма импедансных полярных диаграмм позволяет оценить размерность геоэлектрического разреза в пункте наблюдения, параметр неоднородности *N* – степень горизонтальной геоэлектрической неоднородности, а параметр асимметрии *skew* – степень отклонения среды от двумерно-однородной или осесимметричной. В случае горизонтально-однородной среды форма полярных диаграмм основного импеданса имеет форму круга, а значения дополнительного импеданса равны нулю. Параметры *N* и *skew* также равны нулю. В случае двумерности среды импеданс-

ные полярные диаграммы основного импеданса имеют форму овалов со сплюснутыми боками, а дополнительных импедансов – четырехлепесткового цвета. Величина параметров  $N$  и skew превышает величину 0.3. В случае трехмерности среды полярные диаграммы основного и дополнительного импедансов имеют форму вытянутых восьмерок. Величина параметров  $N$  и skew находится в диапазоне 0.3÷1.

На рис. 3 показаны импедансные полярные диаграммы по всем трем профилям для периодов 0.01 с (рис. 3 а) и 0.1 с (рис. 3 б). На рисунке видно, что для профиля БГ4 полярные диаграммы основного импеданса имеют форму круга для обоих периодов, а дополнительного импеданса – малы. Это свидетельствует о том, что геоэлектрический разрез во всех пунктах наблюдения и во всем измеренном частотном диапазоне можно интерпретировать в рамках одномерной модели. Полярные диаграммы основного импеданса профиля БГ5 на периоде 0.01 с имеют форму круга, а дополнительного импеданса – малы почти во всех пунктах наблюдения за исключением пункта 10А, где форма диаграмм основного и дополнительного импедансов представляют собой форму восьмерки, что свидетельствует о трехмерности геоэлектрического разреза в окрестностях точки наблюдения. На периоде 0.1 с форма полярных диаграмм основного импеданса профиля БГ5 продолжает в основном оставаться в виде круга за исключением пунктов 10А и 27М, где она имеет форму вытянутых восьмерок. Отмечается появление овальности полярных диаграмм на таких пунктах, как 1М, 5А, 6А, 12А, 14А, что свидетельствует о двумерности или трехмерности геоэлектрического разреза в окрестностях данных пунктов с увеличением глубины. Полярные диаграммы профиля БГ6 на периоде 0.01 с отмечаются разнообразием форм. Здесь, при движении по профилю, среди преобладающего количества пунктов с круговыми диаграммами встречаются как отдельные пункты, так и группы пунктов с диаграммами в форме восьмерок и овалов основного и дополнительного импедансов. Такая же ситуация наблюдается и на периоде 0.1 с. Это свидетельствует об отклонении геоэлектрической среды отдельных пунктов профиля БГ6 от горизонтально-слоистой модели и ее пространственной неоднородности.

Расчеты параметров неоднородности ( $N$ ) и асимметричности (skew) среды показали, что их величина для всех пунктов и для всего частотного диапазона профиля БГ4 не превышает величины 0.1, что свидетельствует об одномерности геоэлектрического разреза. Для большинства пунктов профиля БГ5 во всем частотном диапазоне параметры  $N$  и skew не

превышают величину 0.3 во всем частотном диапазоне. Исключение составляют пункты 10А и 27М, где их величина превышает это значение. Это означает, что в основном геоэлектрический разрез профиля БГ5 можно аппроксимировать как горизонтально-слоистый во всем измеренном диапазоне периодов, за исключением пунктов 10А и 27М. Наиболее сложная картина изменения параметров  $N$  и skew наблюдается на профиле БГ6. Здесь на фоне их низких значений наблюдаются высокие на отдельных точках и на различных частотных диапазонах. Подобное поведение свидетельствует о том, что геоэлектрическая среда профиля БГ6 на различных частотах отличается от горизонтально-однородной.

### ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Анализ магнитотеллурических данных показал, что геологическая среда всех трех разрезов отвечает одномерной модели, осложненной на профилях БГ5 и БГ6 в районе отдельных пунктов двух- или трехмерными неоднородностями на различных частотах. В связи с этим на первом этапе была выполнена одномерная интерпретация всех трех профилей. Одномерная интерпретация проводилась с использованием программы MTS-Prof INV фирмы «Северо-Запад» (г. Москва). В связи с тем, что отдельные зондирования не соответствовали параметрам одномерной модели, была выполнена интерпретация в рамках двумерной модели, для того чтобы посмотреть степень влияния этих зондирований на конечную интерпретационную модель. Двумерная интерпретация проводилась с предварительным пересчетом кривых МТЗ в главные направления поляризации электромагнитного поля и учетом статического сдвига с использованием программы [12]. Результаты интерпретации по каждому профилю показаны на рис. 4–6.

#### Профиль БГ4

На рис. 4 а показан геоэлектрический разрез до глубины 3 км, построенный по результатам одномерной интерпретации амплитудных кривых МТЗ. Разрез состоит из трех слоев различного сопротивления. Верхний слой относительно повышенного сопротивления от 18 до 50 Ом·м плавно погружается с краев профиля к его центру до глубины 500 м. Нижележащий слой сопротивлением 4–18 Ом·м и мощностью 1500–1700 м также прогибается к центру и воздымается к краям профиля. Этот слой характеризуется плавным изменением электрического сопротивления от его начала, где оно минимальное 4–8 Ом·м, к его окончанию, где оно составляет 14–18 Ом·м. В основании разреза залегает слой относительно повышенного сопротивления 18–30 Ом·м.

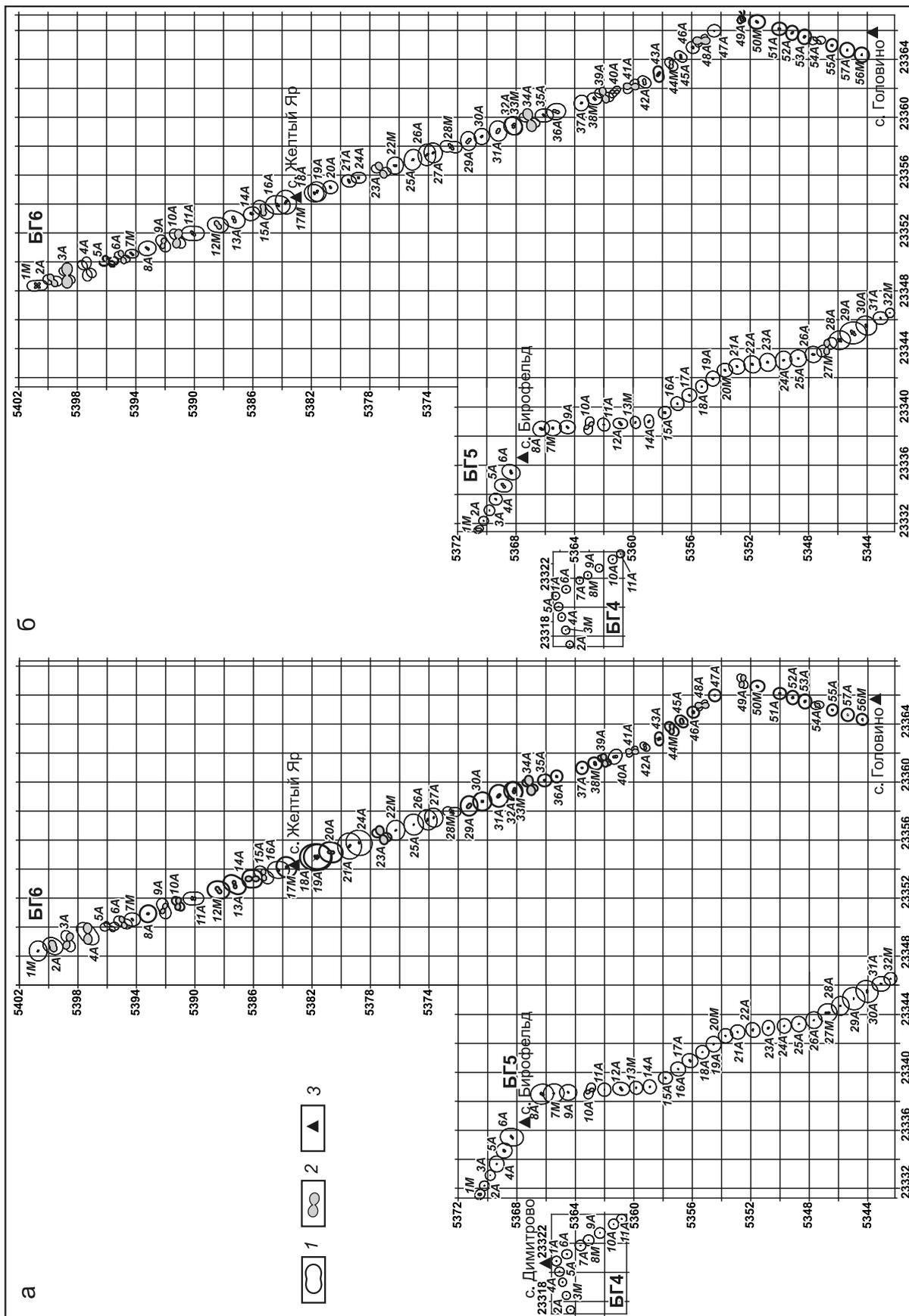


Рис. 3. Импедансные полярные диаграммы профилей БГ4, БГ5, БГ6 для периодов: а – 0.01 с, б – 0.1 с.  
 1 – основной импеданс, 2 – дополнительный, 3 – населенные пункты.

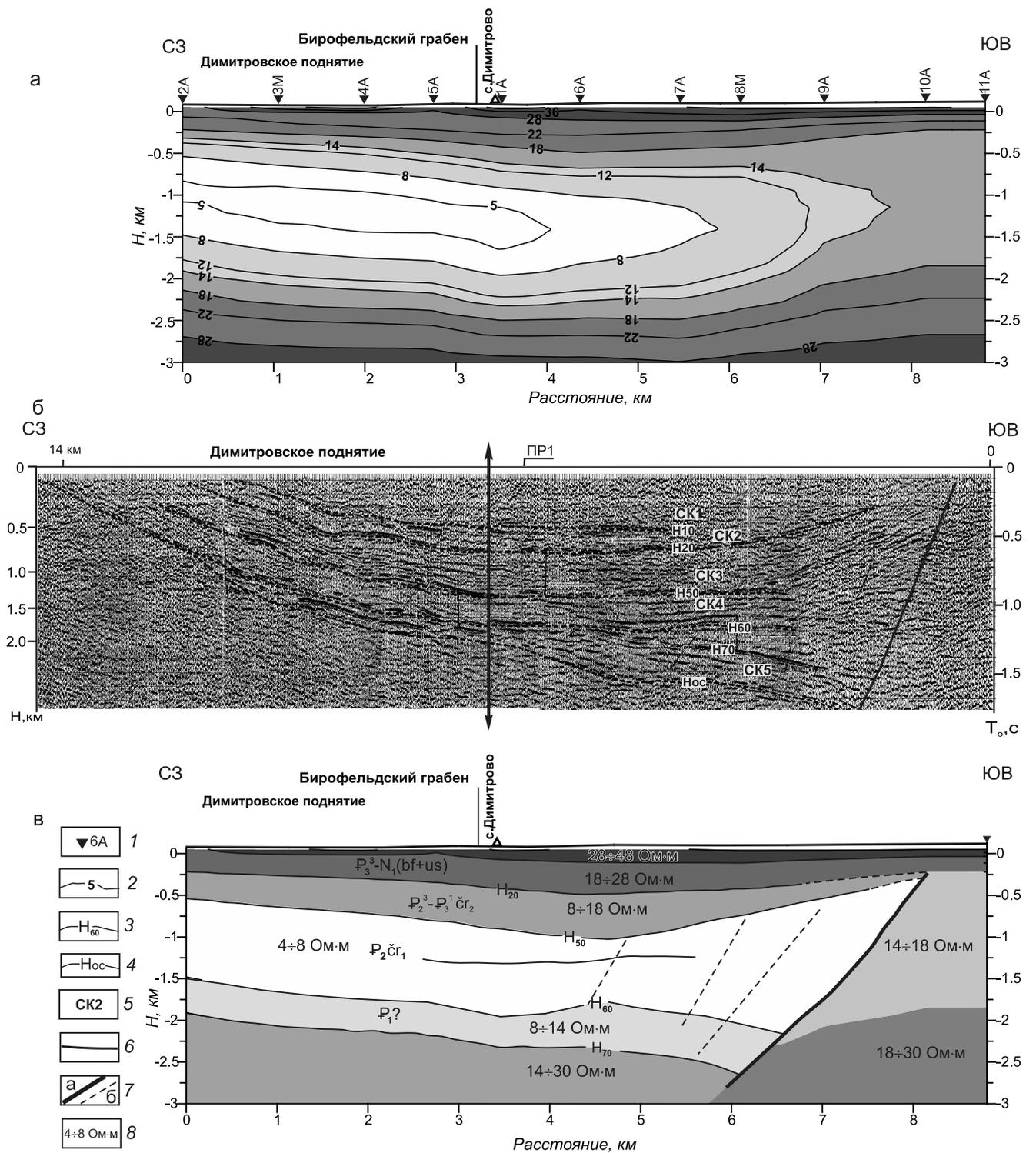


Рис. 4. Геолого-геофизические разрезы по профилю БГ4.

а – геоэлектрический разрез по данным МТЗ; б – сейсмический разрез МОВ-ОГТ по профилю 3 (035898) с элементами интерпретации, выполненной Е.П. Развозжаевой [9]; в – геолого-геофизический разрез, построенный по результатам комплексной интерпретации результатов МТЗ, МОВ-ОГТ и бурения.

Линией со стрелками на обоих концах показано примерное местоположение расхождение профилей МОВ-ОГТ и МТЗ.

1 – пункты МТЗ и их номера, 2 – изолинии удельного электрического сопротивления в Ом·м; 3 – отражающий горизонт и его номер; 4 – отражающий горизонт складчатого основания; 5 – сейсмокомплекс и его номер; 6 – промежуточные отражающие границы; 7 – тектонические нарушения: а – основные, б – второстепенные; 8 – удельное электрическое сопротивление слоев в Ом·м.

### Профиль БГ5

Результаты одномерной интерпретации профиля БГ5 показаны на рис. 5 а, а двумерной – на рис. 5 в. Геоэлектрические разрезы построены до глубины 6 км. Из рисунков видно, что геоэлектрический разрез профиля БГ5 имеет более сложное строение по сравнению с профилем БГ4. Здесь отмечаются контрастные изменения электрического сопротивления не только по глубине, но и по латерали. Кроме этого отмечаются отдельные области как пониженного, так и повышенного сопротивлений. Геоэлектрический разрез представляет собой слоисто-блоковую модель. Сравнение результатов одномерной и двумерной интерпретации результатов МТЗ по профилю БГ5 показывает их хорошее соответствие друг другу. На разрезах отчетливо выделилась область пониженных сопротивлений от 5 до 20 Ом·м и мощностью до 2 км в левой верхней части разрезов, соответствующая Бирофельдскому грабену. В верхней части разреза пониженными сопротивлениями до 100 Ом·м выделяется Мориловецкий грабен и находящиеся в его пределах между пунктами 20М и 25А два объекта с повышенным и пониженным сопротивлениями. В основании разреза на глубинах около 4 км располагаются тела высокого электрического сопротивления свыше 500 Ом·м.

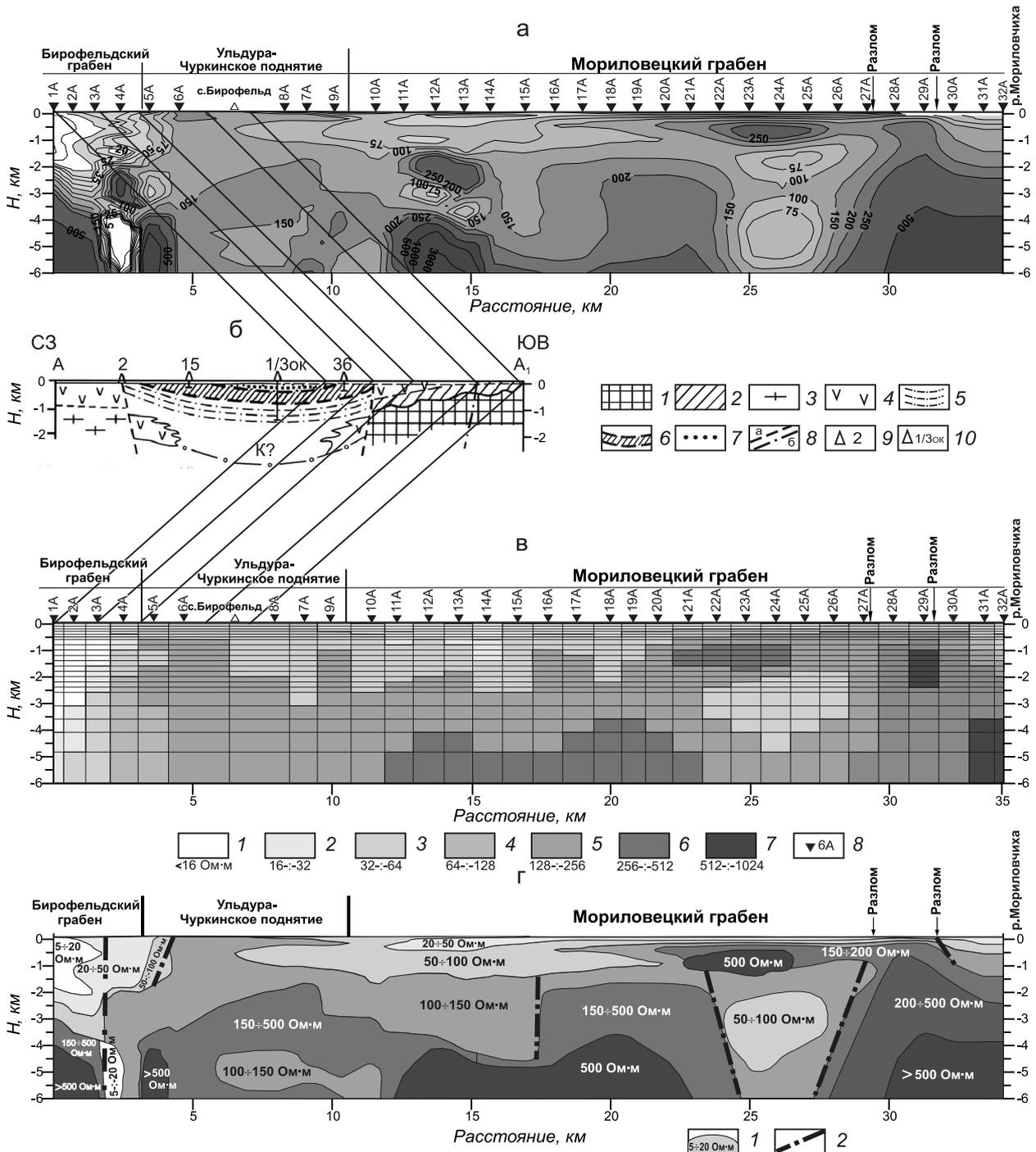
### Профиль БГ6

Геоэлектрический разрез профиля БГ6 (рис. 6) характеризуется наибольшей сложностью. Здесь отмечаются довольно контрастные изменения электрического сопротивления как по простиранию профиля, так и с глубиной. Общий характер распределения сопротивления по результатам одномерной и двумерной интерпретации близок друг к другу. Единственным существенным несовпадением является распределение электрического сопротивления по глубине под Мориловецким грабеном. Наибольшими значениями сопротивления (первые тысячи Ом·м) на разрезах выделяется Шуки-Поктойское поднятие. Далее по профилю выделяется вертикальная область пониженного сопротивления 100–150 Ом·м шириной около 3 км, протягивающаяся от верхней части до основания разрезов. Характерной особенностью геоэлектрического разреза профиля БГ6 является наличие области пониженного сопротивления 50–100 Ом·м на глубине 3 км под Ульдура-Чуркинским поднятием. Сверху она перекрыта областью повышенного сопротивления до 500 Ом·м. Надеждинский и Мориловецкий грабены выделяются низкими сопротивлениями верхней части разреза от 5 до 50 Ом·м. Под ними в основании геоэлектрического разреза сопротивление увеличивается до 500 и более Ом·м.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

### Профиль БГ4

Профиль БГ4 примерно от пункта 11А до 5А совпадает с сейсмическим профилем №3 (035898) [9], а далее, примерно под прямым углом, поворачивает на юго-запад. Сопоставляя геоэлектрический (рис. 4 а) и сейсмический (рис. 4 б) разрезы, можно видеть их хорошее соответствие друг другу. В сейсмическом разрезе (рис. 4 б) выделено пять отражающих горизонтов (ОГ) разделяющих пять сейсмокомплексов (СК), которые были стратиграфически привязаны по скважине 1/3-ОК, расположенной примерно в 15 км к северо-востоку в пределах Бирофельдского грабена. Сопоставление геоэлектрического разреза с сейсмическим показывает, что верхнему слою повышенного сопротивления соответствуют два сейсмокомплекса СК2 и СК1 с сопротивлениями 8÷18 Ом·м и 18÷28 Ом·м, соответственно (рис. 4 в). Кроме этого, вверху первого слоя выделяется еще один слой относительно повышенного сопротивления 28÷50 Ом·м, который может соответствовать четвертичным песчано-галечным отложениям и не выделяется по сейсмическим данным. Геоэлектрическому слою с самыми низкими электрическими сопротивлениями 4÷14 Ом·м соответствуют сейсмокомплексы, залегающие между отражающими границами Н50 и Н60. Этот слой не имеет сплошного простирания, а, согласно интерпретации других геолого-геофизических методов, ограничен с юго-востока разломом. Судя по плавному изменению электрического сопротивления вдоль слоя, данный разлом, вероятно, является структурным несогласием, а не границей между двумя различными блоками горных пород. В работах [6, 10] соотношение ОГ Н10 и Н20 интерпретируется как надвиг, и, таким образом, данная линия является не линией продольного грабенообразующего разлома, а линией надвига с юго-востока. Об этом может свидетельствовать и угловое несогласие между отражающими горизонтами Н60 и Н70. Сейсмокомплексу, заключенному между ОГ Н60 и Н70, соответствует геоэлектрический слой с сопротивлениями 8÷14 Ом·м. Кровля ОГ Н70, ограничивающая геоэлектрический слой сопротивлением 14÷30 Ом·м, предположительно соотносится с кровлей нижнемеловых отложений. Вдоль сейсмического профиля №3 были выполнены работы дифференциально-нормированным методом электроразведки (ДНМЭ) [6], которые показали хорошее совпадение сопротивлений и мощностей геоэлектрических слоев до ОГ Н60, глубже отмечаются существенные отличия [10]. По данным ДНМЭ, на глубине от 1000–1400 до 2000–2400 м располагается слой низкого сопротивления 1–7 Ом·м, который подстилается непроводящим



**Рис. 5.** Геолого-геофизические разрезы по профилю БГ5: а – геоэлектрический разрез, построенный по результатам одномерной интерпретации данных МТЗ; б – геологический разрез района Ушумунского бурогольного месторождения по профилю А-А<sub>1</sub> из рис. 2.2-3 работы [9]; в – геоэлектрическая модель, построенная по результатам двумерной интерпретации данных МТЗ; г – геолого-геофизический разрез, построенный по результатам интерпретации данных МТЗ, МОВ-ОГТ и бурения.

а: перевернутые треугольники с цифрами и буквами – пункты МТЗ и их обозначение, изолинии удельного электрического сопротивления – значения в Ом·м; б: 1 – позднепермский комплекс пород; 2 – ранне-среднетриасовые образования; 3 – гранитоиды раннепалеозойские; 4 – андезиты, дациандезиты (поздний мел–эоцен); 5 – чернореченская свита ( $P_3 - P_3^1 \text{ cr}$ ); 6 – бирюфельдская свита ( $P_3^2 \text{ bf}$ ); 7 – ушумунская свита ( $P_3 - N_1^{1-2} \text{ us}$ ); 8 – разломы: а – установленные, б – предполагаемые; 9 – скважины поисково-разведочные на уголь и их номера; 10 – скважина опорно-картировочная 1/3-ОК; в: 1–7 – диапазоны удельного электрического сопротивления в Ом·м, 8 – пункты МТЗ и их номера; г: 1 – геологические объекты, имеющие близкие значения электрического сопротивления в Ом·м, 2 – разрывные нарушения, предполагаемые.

фундаментом с сопротивлением более 1000 Ом·м. Подобное несоответствие может быть вызвано несовпадением участков исследования.

### *Профиль БГ5*

По профилю БГ5 не было проведено сейсмических исследований, но здесь имеется геологический разрез, построенный по результатам бурения в районе Ушумунского бурогольного месторождения (рис. 5 б). Небольшая часть этого разреза совпадает с профилем БГ5, что позволяет проверить достоверность результатов МТЗ. На рисунках 5 а, б, в параллельными линиями показано соответствие положения геологических границ на геоэлектрических разрезах. Из рисунков видно, что при движении с северо-запада на юго-восток область низкого сопротивления 5–20 Ом·м соответствует осадочным породам Бирофельдского грабена, мощность которых может достигать 2 км. По результатам бурения опорно-картировочной скважины 1/3 ОК их мощность составляет около 1400 м. Несовпадение мощностей осадочного чехла по геологическим и магнитотеллурическим данным может быть связано с их пространственным несовпадением. На геоэлектрическом разрезе рис. 5 а отчетливо видно уменьшение мощности проводящей зоны на северо-запад в сторону скважины 1/3 ОК. Такое поведение формы проводящей области соответствует структурной схеме САОБ (рис. 2), показывающей максимальную мощность осадков в районе грабенообразующего разлома. В основании осадочного чехла грабена залегают андезиты, которые имеют высокое удельное электрическое сопротивление, что находит свое отражение на геоэлектрическом разрезе. Далее на юго-запад по геологическому разрезу выделяется грабенообразующий разлом, который на геоэлектрических разрезах проявляется как область геоэлектрической неоднородности, отделяющей области низкого и повышенного сопротивлений. На геологическом разрезе области повышенного сопротивления соответствуют позднемиоценовые–эоценовые андезиты и дациандезиты, ранне-среднетриасовые образования и позднепермский комплекс пород. Здесь же выделен разлом, который не отражается на геоэлектрических разрезах. Это связано с тем, что на данном промежутке отсутствуют наблюдения методом МТЗ из-за наличия населенного пункта с. Бирофельд.

Таким образом, по результатам сопоставления геологического и геоэлектрического разрезов можно видеть их хорошее соответствие друг другу. Это показывает, что метод МТЗ в данном районе достаточно корректно отражает геологические границы как по простиранию, так и по глубине. Исходя из этого, был построен геолого-геофизический разрез по про-

филю БГ5, показанный на рис. 5 г. Профиль начинается в Бирофельдском грабене, пересекает Ульдура-Чуркинское поднятие и далее на протяжении почти 25 км проходит по Мориловецкому грабену. Бирофельдский грабен выделяется наименьшими значениями электрического сопротивления 5–20 Ом·м до глубины 1.5–2 км. Глубже сопротивление резко увеличивается до первых сотен Ом·м и на глубине около 4 км превышает 500 Ом·м, что, согласно результатам электроразведочных работ методом ВЭЗ, соответствует породам фундамента [9]. По данным метода ДНМЭ, сопротивление пород фундамента превышает 1000 Ом·м [10]. Удельное электрическое сопротивление пород Ульдура-Чуркинское поднятия в верхней части до глубин 2–3 км составляет 100–150 Ом·м, а глубже возрастает до 500 Ом·м. Под Ульдура-Чуркинским поднятием на глубине около 4 км выделяется аномалия пониженного сопротивления 100–150 Ом·м мощностью около 1.5 км.

Мориловецкий грабен характеризуется неоднородным строением как осадочного чехла, так и фундамента. По изменению электрического сопротивления верхних 1.5–2 км его можно разделить на 4 части. Первая часть от МТЗ 9А до 20М состоит из двух слоев пониженного сопротивления 20–50 и 50–100 Ом·м, сверху вниз. Вторая часть от МТЗ 20М до 27М имеет повышенные значения сопротивления от 20 Ом·м до 200 Ом·м с локальным увеличением до 500 Ом·м на глубине 0.5–1 км между пунктами 21А и 25А. Характерной особенностью этой части является наличие здесь на глубинах 2–4.5 км области пониженного сопротивления 50–100 Ом·м. Третья часть расположена между пунктами 27М и 30А и ограничена с обеих сторон структурными разломами. Она характеризуется повышенным электрическим сопротивлением, увеличивающимся с глубиной от 150 до 500 Ом·м. Четвертая часть имеет горизонтально-слоистое строение с постепенным увеличением сопротивления с глубиной от 20 до 150 Ом·м на глубине 1.5 км. Мориловецкий грабен глубже примерно 2 км имеет блоковое строение. Здесь наблюдаются выступы блоков повышенного сопротивления в верхней части от 150 до 500 Ом·м, а глубже примерно 4 км их сопротивление превышает 500 Ом·м. Края блоков крутые и, вероятно, ограничены разломами.

Полученные результаты хорошо согласуются с данными об электрических свойствах горных пород и результатами интерпретации ВЭЗ, выполненных по двум профилям, проходящим примерно в том же районе, что и профиль МТЗ БГ5 [8]. Отмечено, что сопротивление осадочных отложений Бирофельдского грабена имеют более низкие значения по сравнению с образованиями Мориловецкого грабена. Аномально

высокие сопротивления осадочного чехла между пунктами МТЗ 20М до 27М, вероятно, генетически связаны с блоком повышенного сопротивления, почти выходящим на поверхность и ограниченном структурными разломами (третья часть грабена). Возможно, что в результате вертикального смещения северо-западного блока вниз, а юго-восточного вверх произошло перекрытие ранее накопившихся осадков северо-западного блока продуктами разрушения юго-восточного блока. Это косвенно отражено и на структурной схеме (рис. 2), где видно наличие выступа фундамента Ульдура-Чуркинского поднятия, простирающегося в сторону грабена.

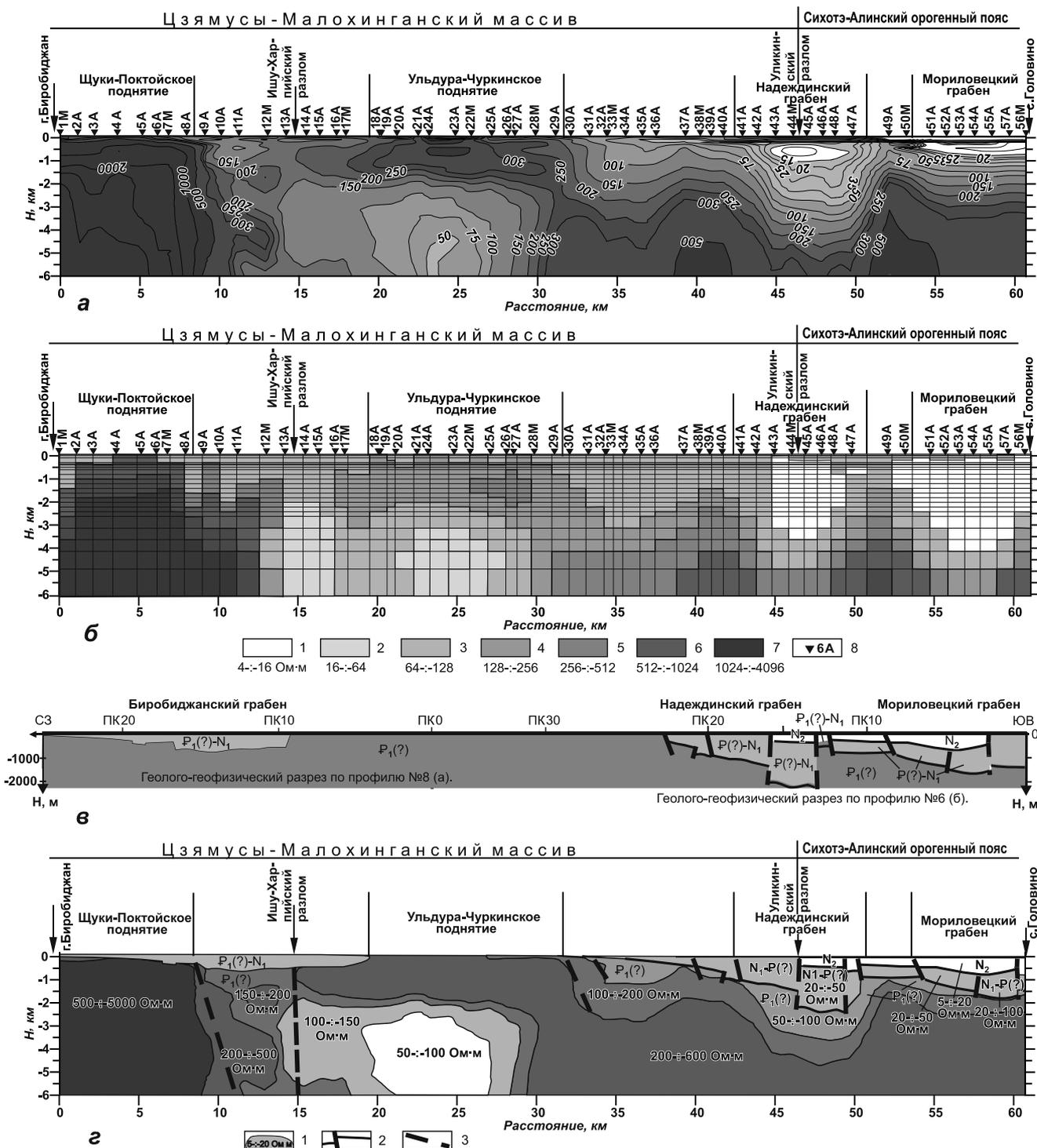
### **Профиль БГ6**

Профиль БГ6 характеризуется контрастностью электрических сопротивлений всех пересеченных геологических объектов (рис. 6 г). Он начинается на Шуки-Поктойском поднятии, которое выделяется высокими электрическими сопротивлениями в первые тысячи Ом·м. По геологическим данным, поднятие сложено гранитоидами ордовикского возраста [3]. Юго-восточная граница поднятия крутая, возможно ограничена разломом субвертикального заложения. Далее профиль пересекает довольно контрастную область пониженного сопротивления, отделяющую Шуки-Поктойское поднятие от Ульдура-Чуркинского поднятия. Эта область перекрыта в верхней части слоем переменной мощности до 0.5 км, который соответствует осадочным образованиям Среднеамурского бассейна. Сложное строение этой области вероятно связано с проходящим здесь Ишу-Харпийским разломом. Ульдура-Чуркинский подъем, по результатам МТЗ, имеет аномальное строение. Его верхняя часть мощностью до 2–2.5 км имеет сопротивление от 200 до 500 Ом·м, а глубже располагается обширная область пониженного сопротивления 50÷150 Ом·м, простирающаяся на 12–15 км от Ишу-Харпийского разлома до МТЗ 27А. Минимальное сопротивление около 50 Ом·м отмечается под центром поднятия на глубинах 4÷5 км. По данным МТЗ, юго-восточное окончание Ульдура-Чуркинского поднятия шириной около 5 км соединяется с более глубокими слоями. Построение геолого-геофизического разреза для Надеждинского и Мориловецкого грабенов проводилось в комплексе с результатами сейсмических исследований (рис. 6 в). Сопоставление сейсмических и магнитотеллурических данных показало их соответствие друг другу. Наилучшее соответствие сейсмических и магнитотеллурических данных получено по результатам интерпретации МТЗ в рамках одномерной модели. Каждому выделенному по сейсмическим данным слою определены его электрические характеристики.

В связи с тем, что глубина геoeлектрических разрезов превышает глубину сейсмического разреза, геолого-геофизический разрез был достроен исходя из результатов МТЗ. Из рис. 6 г видно, что оба грабена имеют пологие борты за исключением узкого участка в Надеждинском грабене между пунктами МТЗ 42А и 47А, где наблюдается погружение узкого блока. Это также соответствует и структурной схеме бассейна (рис. 2). Мощность осадков с сопротивлениями до 50 Ом·м составляет 1.5–2 км. Глубже сопротивление увеличивается. Было выделено еще два слоя с сопротивлениями 50–100 и 100–200 Ом·м. Максимальная глубина погружения нижнего слоя составила 4.5 км. Оставшаяся часть разреза объединена в общий слой с сопротивлением от 200 до 600 Ом·м, который образует единое пространство с Ульдура-Чуркинским поднятием.

Профиль БГ6 пересекает важную тектоническую границу, проходящую по Уликинскому (Куканскому) разлому, – границу между Буреинским массивом и Сихотэ-Алинским орогенным поясом. Однако эта граница какими-либо значительными изменениями в геoeлектрическом разрезе до глубины 6 км не проявилась. Наибольшее влияние на геoeлектрический разрез оказал Ишу-Харпийский (Курский) разлом. Окружающая его область характеризуется сложным строением.

Наибольший интерес вызывает аномалия пониженного сопротивления, расположенная под Ульдура-Чуркинским поднятием. Подобная аномалия отмечалась на профиле БГ5, но значительно слабее. Чем может быть вызвано столь низкое сопротивление горных пород под горным хребтом высотой до 630 м над уровнем моря? Возможно, что подобное могло произойти в результате надвига, о чем свидетельствуют данные сейсморазведки. Возможно, это связано с влиянием Ишу-Харпийского (Курского) разлома. А может быть это является следствием процессов рифтогенеза всего Среднеамурского осадочного бассейна. Механизм данного процесса представлен в работе [4, рис. 2]. По результатам компьютерного моделирования показано, что при активном рифтинге внешние и внутренние листрические разломы характеризуются разной кинематикой. При этом внешние разломы являются взбросами и отвечают за формирование «плечей» рифта. Внутренние разломы со стороны их лежащих крыльев представляют собой выдвиги с восходящей вертикальной компонентой, а со стороны их висячих крыльев – сбросы с нисходящей компонентой. Таким образом, исходя из позиции активного рифтогенеза, происходящего с позднемелового периода на территории САОБ, одними из признаков которого являются подъем поверхности верхней мантии и вулканизм, можно предположить, что в период фор-



**Рис. 6.** Геолого-геофизические разрезы по профилю БГ6: а – геоэлектрический разрез, построенный по результатам одномерной интерпретации данных МТЗ; б – геоэлектрическая модель, построенная по результатам двумерной интерпретации данных МТЗ; в – глубинные сейсмические разрезы; г – геолого-геофизический разрез, построенный по результатам интерпретации данных МТЗ, МОВ-ОГТ.

а: перевернутые треугольники с цифрами и буквами – пункты МТЗ и их обозначение; изолинии удельного электрического сопротивления – значения в Ом·м; б: 1–7 – диапазоны удельного электрического сопротивления в Ом·м, 8 – пункты МТЗ и их номера; в – глубинные сейсмические разрезы по профилю 8 (а) и профилю 6 (б) (по материалам Поносова В.И. и др., 1984 г.); г: 1 – геологические объекты, имеющие близкие значения электрического сопротивления в Ом·м, 2 – границы, выделенные по сейсмическим данным; 3 – разрывные нарушения, предполагаемые.

мирования «плеча» грабена, которым может являться Ульдура-Чуркинское поднятие, произошло погребение части осадков, образовавшихся на границе с гранитоидами Буреинского массива. Существенную роль в понижении сопротивления сыграло и влияние мощной разломной системы Тан-Лу. О подъеме мантии под САОБ свидетельствуют результаты предыдущих МТЗ, выполненных вкрест простирания бассейна, и трехмерного плотностного моделирования [7]. Геологические данные свидетельствуют о широком развитии базальтового магматизма на территории САОБ [5]. Возможно, что и надвиговые явления, обнаруженные в результате сейсмических работ в Бирофельдском грабене, вызваны процессами активного рифтинга.

### ВЫВОДЫ

В результате детальных работ методом магнитотеллурического зондирования были построены геoeлектрические разрезы осадочного чехла и фундамента на северо-западном борту Среднеамурского осадочного бассейна. Показано их хорошее соответствие результатам сейсмических работ методом МОВ-ОГТ и бурения, построены комплексные геолого-геофизические разрезы по трем профилям.

На профиле БГ4, в результате сопоставления сейсмических и магнитотеллурических данных, было подтверждено наличие структурного несогласия, связанного, вероятно, с надвигом, определены электрические характеристики выделенных сейсмических горизонтов.

На профиле БГ5 с привлечением данных бурения и ВЭЗ была построена геолого-геофизическая модель строения осадочного чехла и фундамента до глубины 6 км. Разрез имеет слоисто-блоковое строение, осадочные образования Бирофельдского грабена имеют более низкое электрическое сопротивление, чем Мориловецкого. Осадочный чехол Мориловецкого грабена неоднороден по простиранию и условно подразделяется на четыре участка по своему строению и электрическим свойствам. Здесь выделена область пониженного сопротивления 50–100 Ом·м на глубинах 2–4.5 км, перекрытая в верхней части высокоомными осадками. Подобное поведение электрического сопротивления объяснено вертикальным перемещением соседних блоков с последующим разрушением выступающего блока и перекрытием продуктами его разрушения опущенного блока. Показано, что грабенообразующий разлом Бирофельдского грабена хорошо выражен на геoeлектрическом разрезе и прослеживается до основания разреза. Под Ульдура-Чуркинским поднятием на глубине около 4 км выделена аномалия пониженного сопротивления 100–150 Ом·м мощностью около 1.5 км.

На профиле БГ6 определено электрическое сопротивление слоев осадочного чехла Надеждинского и Мориловецкого грабенов, выделенных по данным сейсморазведки, и построена геолого-геофизическая модель. Шуки-Поктойское поднятие резко отличается по уровню электрического сопротивления от Ульдура-Чуркинское поднятия, что связано с различным составом слагающих их пород. Шуки-Поктойское поднятие сложено в основном гранитоидами и имеет сопротивление в первые тысячи Ом·м, а Ульдура-Чуркинское – литифицированными осадками, и их электрическое сопротивление составляет от первых сотен до 500 Ом·м. Область, расположенная между обоими поднятиями, имеет сложное строение, связанное с влиянием Ишу-Харпийского (Курского) разлома. В то же самое время, Уликинский (Куканский) разлом практически никак не отразился на геoeлектрическом разрезе, хотя многие структурные разломы более низкого порядка, отраженные на структурной схеме строения осадочного бассейна, отчетливо проявились в геoeлектрических разрезах. Выделена область пониженного сопротивления 50–100 Ом·м под Ульдура-Чуркинским поднятием на глубинах от 2.5 до 6 км. Дано объяснение ее природы, которая связывается с явлением активного рифтинга. При образовании «плеча» грабена, которым может быть Ульдура-Чуркинское поднятие, произошло погребение под ним осадочных образований. Дополнительный вклад в этот процесс, вероятно, внес и Ишу-Харпийский (Курский) разлом.

Работа выполнена при поддержке грантов ДВО №12-I-0-ОНЗ-11 «Строение и динамика литосферы Среднеамурского осадочного бассейна (Дальний Восток)» и №12-III-A-08-187 «Глубинное строение и геодинамика мезозойско-кайнозойских рифтогенных структур зоны перехода континент-океан в области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского тектонических поясов».

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Модели и методы магнитотеллурики. М.: Науч. мир, 2009. 680 с.
2. Варнавский В.Г. Палеогеновые и неогеновые отложения Среднеамурской впадины. М.: Наука, 1971. 160 с.
3. Геологическая карта Приамурья и сопредельных территорий. 1: 2 500 000: Объясн. зап. СПб.-Благовещенск-Харбин, 1999. 135 с.
4. Гончаров М.А., Фролова Н.С., Рожин П.Н. Конвективная эволюция перехода от пассивного рифтогенеза к активному // Континентальный рифтогенез, сопутствующие процессы: Материалы II Всерос. симпозиума с международным участием и молодежной науч. шк., посвящ. памяти академиков Н.А. Логачева и Е.Е. Милановского. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2013. В 2-х т. Т. 1. С. 86–89.

5. Государственная геологическая карта РФ. 1:1 000 000. Лист М-53 / М-во природы РФ. ФГУП ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского. ФГУП «Дальгеофизика», 2008 г.
6. Калашникова А.С., Лазарев А.П., Трондин В.И. Сейсмо-разведочные работы МОГТ на территории Еврейской автономной области // Геофизика. 1999. С. 29–32. (Спец. выпуск к 50-летию «Иркутскгеофизика»).
7. 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.
8. Меркулова Т.В., Манилов Ю.Ф. Строение юго-западной части Среднеамурской впадины (по геоэлектрическим и гравиметрическим данным) // Тихоокеан. геология. 1998. Т. 17, № 4. С. 116–120.
9. Среднеамурский осадочный бассейн: геологическое строение, геодинамика, топливно-энергетические ресурсы / Отв. ред. Г.Л. Кириллова. Владивосток: ДВО РАН, 2009. 424 с. (Серия «Осадочные бассейны Востока России» / Гл. ред. А.И. Ханчук; Т. 3).
10. Структуры и нефтегазоносность западной части Среднеамурской впадины. Владивосток: ИКАРП ДВО РАН, 1999. 86 с.
11. Уткин В.П. Сдвиговый структурный парагенезис и его роль в континентальном рифтогенезе восточной окраины Азии // Тихоокеан. геология. 2013. Т. 32, № 3. С. 21–43.
12. Rodi W.L., Mackie R.L. Nonlinear conjugate gradients algorithm for 2-D magnetotelluric inversion // Geophysics. 2001. V. 66. P. 174–187.

*Рекомендована к печати А.Н. Диденко*

***V.B. Kaplun***

### **Geoelectrical sections of the northwestern boundary of the Middle Amur sedimentary basin (the Far East) from data of magnetotelluric soundings**

Based on the data of magnetotelluric soundings (MTS), carried out at the northwestern boundary of the Middle Amur sedimentary basin (MASB), the geoelectrical sections were constructed down to 3 and 6 km depths along three profiles across the strike of the basin. Using the results of MTS data interpretation and involving the data of seismic methods including method of converted waves of earthquakes (MCWE) and common midpoint method (CMP); electrical prospecting methods including vertical electrical sounding (VES) and differential-normalized electrical prospecting (DNEP), and, also, using drilling data, the comprehensive geological-geophysical sections have been constructed. As a result, the structure of the sedimentary cover and the basement has been visualized and the anomalous areas have been distinguished; their electrical properties have been determined.

***Key words:* magnetotelluric sounding, deep structure, Middle Amur sedimentary basin, Far East.**