

**СТРОЕНИЕ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО БОРТА СРЕДНЕАМУРСКОГО ОСАДОЧНОГО
БАСЕЙНА ПО ДАННЫМ АУДИОМАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ ЗОНДИРОВАНИЙ
(ДАЛЬНИЙ ВОСТОК РОССИИ)**

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 21 февраля 2017 г.

В работе представлены результаты продолжающихся исследований строения северо-западного борта Среднеамурского осадочного бассейна методом аудиоманнитотеллурического зондирования. Построены геоэлектрические разрезы по двум профилям вкрест простирания бассейна, изучено строение осадочного чехла и фундамента, определены их электрические характеристики. Выполнено сопоставление настоящих и предыдущих исследований, которые показали наличие на Ульдура-Чуркинском поднятии зон низкого электрического сопротивления 50–150 Ом·м под породами высокого сопротивления 500–1000 Ом·м на глубине от 2 до 4 км в его северо-восточной части и их отсутствие в его юго-западной части. Это связывается со сдвиго-надвиговыми процессами, произошедшими в результате грабенообразования в области сочленения бассейна с Цзямусы-Буреинским массивом в зоне действия Курского разлома (Илань-Итунская ветвь разломов Тан-Лу), а также с глобальными левосдвиговыми перемещениями и магматической деятельностью.

Ключевые слова: аудиоманнитотеллурическое зондирование, глубинное строение, Среднеамурский осадочный бассейн, Курский разлом, Дальний Восток России.

ВВЕДЕНИЕ

Среднеамурский осадочный бассейн (САОБ) расположен в среднем течении р. Амур и низовьях его притоков р. Усури и р. Сунгари. Бассейн вытянут в СВ направлении до 600 км и достигает в ширину 250 км. САОБ является крупной депрессией, наложенной на область сочленения двух тектонических поясов – Центрально-Азиатского и Тихоокеанского. Большую роль в строении СЗ борта САОБ играет Курский разлом Илань-Итунской ветви разломов Тан-Лу, с которым связываются цепочки грабенов – Лобэйский, Самарско-Дитурский, Преображенковский, Бирофельдский (рис. 1). Существует множество схем разломов с различными названиями, на которых продолжением Илань-Итунского разлома на территории России является Ишу-Харпийский разлом, который затем переходит в Курский [3, 6 и др.]. Согласно схеме [13], Курский разлом с СЗ ограничивает САОБ и, простираясь далее на СВ, под косым углом соединяется с Центральным Сихотэ-Алинским разломом. Далее будем придерживаться терминологии, предло-

женной в [13]. Развитие разлома, как структуры сжатия (взброс), сопровождалось формированием складчато-надвиговой системы с ярко выраженной вергентностью складок на ЮВ и падением надвиговых сместителей на СЗ. После альба произошла смена кинематики разлома от взбросовой к левосдвиговой с левосторонним разобщением восточной границы кратоногена на амплитуду около 50 км. Илань-Итун-Курский разлом хорошо выражен в гравитационном и магнитном полях. Согласно данным ГСЗ по профилю Свободный–Комсомольск-на-Амуре [11], разлом имеет субвертикальное падение, пересекает земную кору и уходит в верхнюю мантию. По данным МТЗ, на профиле, расположенном южнее профиля ГСЗ, разлом выделяется зоной пониженного электрического сопротивления (ЭС), уходящей под крутым углом под Цзямусы-Буреинский массив [7]. Юго-восточнее Курского разлома, параллельно простиранию грабенов, расположено Ульдура-Чуркинское поднятие, представленное в рельефе горными хребтами Даур, Б.Чурки, Ульдура, разделенными межгорными сед-

ловинами. Они доминируют над окружающим рельефом, высота которого над уровнем моря составляет 50–100 м, а хребтов Даур – 590 м, Б. Чурки – 830 м, Ульдура – 630 м, имеют крутые склоны и занимают относительно небольшую площадь, например, хр. Ульдура – около 100 км². К юго-востоку от поднятий расположена другая цепочка грабенов СВ простирания – Башмакский, Мориловецкий, Надеждинский.

Фундамент бассейна имеет блоковое строение и представляет собой сложную систему горстов и грабенов, погребенную под осадочным чехлом [2]. Строение осадочного чехла бассейна изучено различными геолого-геофизическими методами, хотя и недостаточно полно. Имеющиеся результаты обобщены

и систематизированы в монографии [12]. В 2014 г. были опубликованы результаты магнитотеллурических зондирований (МТЗ), выполненных в СВ части Бирофельдского грабена САОБ по трем профилям вкрест его простирания [8]. В результате построены геоэлектрические разрезы до глубины 6 км, изучено строение осадочного чехла и фундамента, определено их электрическое сопротивление.

Настоящие исследования являются продолжением работ, выполненных в СВ части Бирофельдского грабена САОБ, и направлены на детальное изучение строения осадочного чехла и фундамента СЗ борта бассейна методом аудиомантителлурического зондирования (АМТЗ).

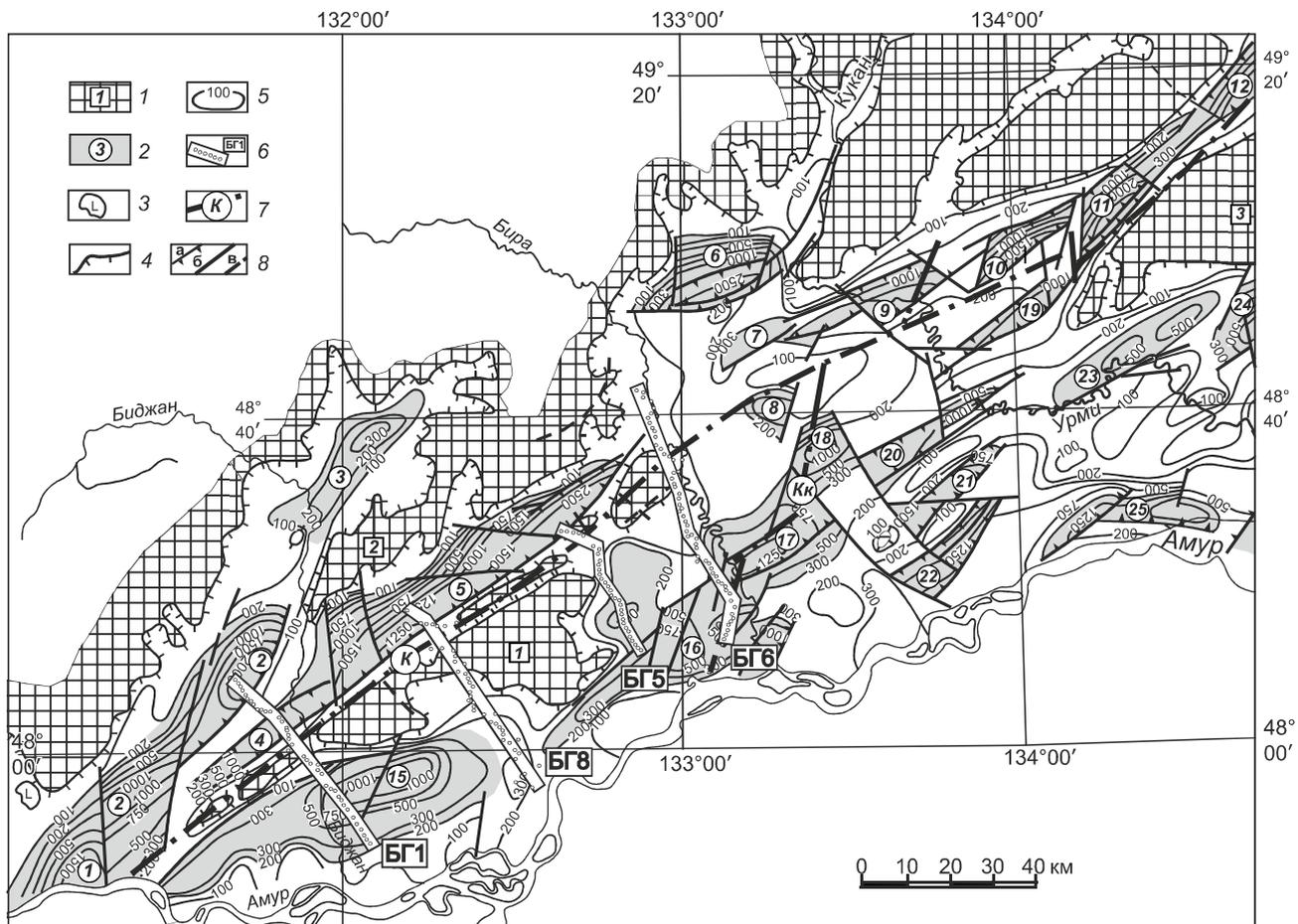


Рис. 1. Структурная схема Среднеамурского осадочного бассейна по [12] (фрагмент).

1 – поднятие и его номер: 1 – Ульдура-Чуркинское, 2 – Шуки-Поктойское, 3 – Вандано-Горбылякское; 2 – грабен и его номер по [12]: 1 – Лобэйский, 2 – Самарско-Дитурский, 3 – Тайменьский, 4 – Преображенновский, 5 – Бирофельдский, 6 – Биробиджанский, 7 – Аурский, 8 – Верхнеинский, 9 – Волканский, 10 – Иванковецкий южный, 11 – Иванковецкий северный, 12 – Кафэнский, 15 – Башмакский, 16 – Мориловецкий, 17 – Надеждинский, 18 – Ольский, 19 – Уликанский, 20 – Инский, 21 – Петровский, 22 – Луговойской, 23 – Евгеньевский, 24 – Архангеловский, 25 – Нижнеспаский; 3 – неоген-четвертичные базальты; 4 – граница бассейна; 5 – изогипсы мощности осадочного чехла в метрах; 6 – профиль АМТЗ с пунктами наблюдения и его наименование (БГ1, БГ8 – настоящая работа, БГ5, БГ6 – по [8]); 7 – основные разломы: К – Курский, Кк – Куканский; 8 – разломы: сброс амплитудой больше 500 м, б – сброс амплитудой меньше 500 м, в – прочие.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Измерения электромагнитного поля выполнены по двум профилям БГ8 и БГ1 вкрест простирания бассейна с шагом 1 км (рис. 1) по ранее использованной методике [8]. Длина профилей составила 48 и 46 км, соответственно. Зондирования проводились цифровой 24-разрядной станцией MTU-5A с магнитными индукционными датчиками МТС-30, производства фирмы Phoenix (Канада). В связи с отсутствием третьего индукционного датчика, измерялись только четыре компоненты электромагнитного поля – E_x , E_y , H_x , H_y . Заземление электрических линий, длиной 70 м, осуществлялось при помощи слобополяризующихся угольных электродов. Установка датчиков и прокладка линий проводилась в направлениях – юг-север (X-компонента), запад-восток (Y-компонента). Северное и восточное заземления соединялись с положительными клеммами станции, а южное и западное – с отрицательными. Во всех пунктах регистрация естественного электромагнитного поля Земли выполнена в диапазоне частот 10^4 Гц ÷ 1 Гц (режим АМТ). После регистрации на точке осуществлялся визуальный контроль качества полевой записи и ее предварительная обработка с использованием программного пакета SSMT2000. При необходимости производился повторный замер. Окончательная обработка полевых материалов осуществлялась в камеральных условиях с использованием программы Соггестор (фирма «Северо-Запад», Москва) для удаления выбросов отдельных значений и сглаживания импедансных кривых АМТЗ.

АНАЛИЗ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Для определения стратегии интерпретации полученных данных был выполнен магнитотеллурический тест [1]. Для этого были рассчитаны пространственные характеристики тензора импеданса: магнитотеллурический параметр неоднородности (N_{mt}), параметры асимметрии Свифта ($skew_s$) и Бара ($skew_B$). Параметр неоднородности (N) позволяет оценить степень горизонтальной геоэлектрической неоднородности, а параметр асимметрии ($skew$) – степень отклонения среды от двумерно-однородной или осесимметричной.

$$N = (1 - 4 \cdot (Z_{xx}Z_{yy} - Z_{xy}Z_{yx}) / (Z_{xy} - Z_{yx}))^{1/2},$$

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

$$skew_B = (|\text{Im}(Z_{xy}\bar{Z}_{yy} + Z_{xx}\bar{Z}_{yx})|^{1/2} / |Z_{xy} - Z_{yx}|),$$

где: Z_{xy} , Z_{yx} – основные импедансы, Z_{xx} , Z_{yy} – дополнительные импедансы, горизонтальная черта – комплексное сопряжение.

Пороговым значением, характеризующим среду как горизонтально-однородную, была принята величина для N_{mt} , $skew_s$ и $skew_B$, равная 0.15 [1]. В случае

двухмерности среды величина параметров N и $skew$ находится в диапазоне 0.15 ÷ 0.3, а в случае трехмерности среды – превышает значение 0.3. Результаты расчетов показаны на рис. 2 для профиля БГ8, и на рис. 3 для профиля БГ1.

На большей части профиля БГ8 среда на частотах выше 10 Гц, согласно параметру N_{mt} (рис. 2 а), характеризуется как горизонтально-однородная, за исключением отдельных пунктов, где его величина превышает пороговое значение 0.15. Наибольшей неоднородностью выделяется Ульдура-Чуркинское поднятие и его юго-восточное обрамление, где параметр N_{mt} превышает значение 0.3 (пункты № 18 и № 20). В районе пункта № 9 на высоких частотах также имеется локальная трехмерная неоднородность. На частотах ниже 10 Гц среда характеризуется неоднородным строением с чередованием участков одномерности, двухмерности и трехмерности. Параметр асимметрии Бара ($skew_B$) (рис. 2 б) показывает, что на частотах выше 100 Гц среда характеризуется как одномерная с локальными двухмерными неоднородностями. На частотах ниже 100 Гц среда имеет неоднородное строение с чередованием участков одномерности, двухмерности и трехмерности, с преобладанием двухмерности. Параметр асимметрии Свифта ($skew_s$) (рис. 2 в) характеризует среду на частотах выше 10 Гц в основном как одномерную осесимметричную, за исключением отдельных пунктов (№ 1, 12, 18 ÷ 20, 9), которые также выделялись другими параметрами. Анализ магнитотеллурических параметров неоднородности и асимметрии показал, что среда профиля БГ8 в основном характеризуется как одномерная и двухмерная осесимметричная, за исключением отдельных пунктов, и в диапазоне частот ниже 10 Гц, где среда имеет неоднородное строение с чередованием участков одномерности, двухмерности и трехмерности, с преобладанием двухмерности.

Параметр неоднородности N_{mt} профиля БГ1 (рис. 3 а) свидетельствует о преимущественно одномерности среды за исключением Ульдура-Чуркинского поднятия и его северо-западного обрамления, а также на частотах ниже 10 Гц, где выделяются участки с двухмерной и трехмерной средами. Параметр асимметрии Бара ($skew_B$) (рис. 3 б) характеризует среду как сложнопостроенную с преобладанием одномерности на частотах выше 100 Гц за исключением Ульдура-Чуркинского поднятия и отдельных пунктов профиля. На частотах ниже 100 Гц среда имеет неоднородное строение с чередованием участков одномерности, двухмерности и трехмерности, с преобладанием двухмерности. Параметр асимметрии Свифта ($skew_s$) (рис. 3 в) по своему характеру распределения близок параметру неоднородности N_{mt} .

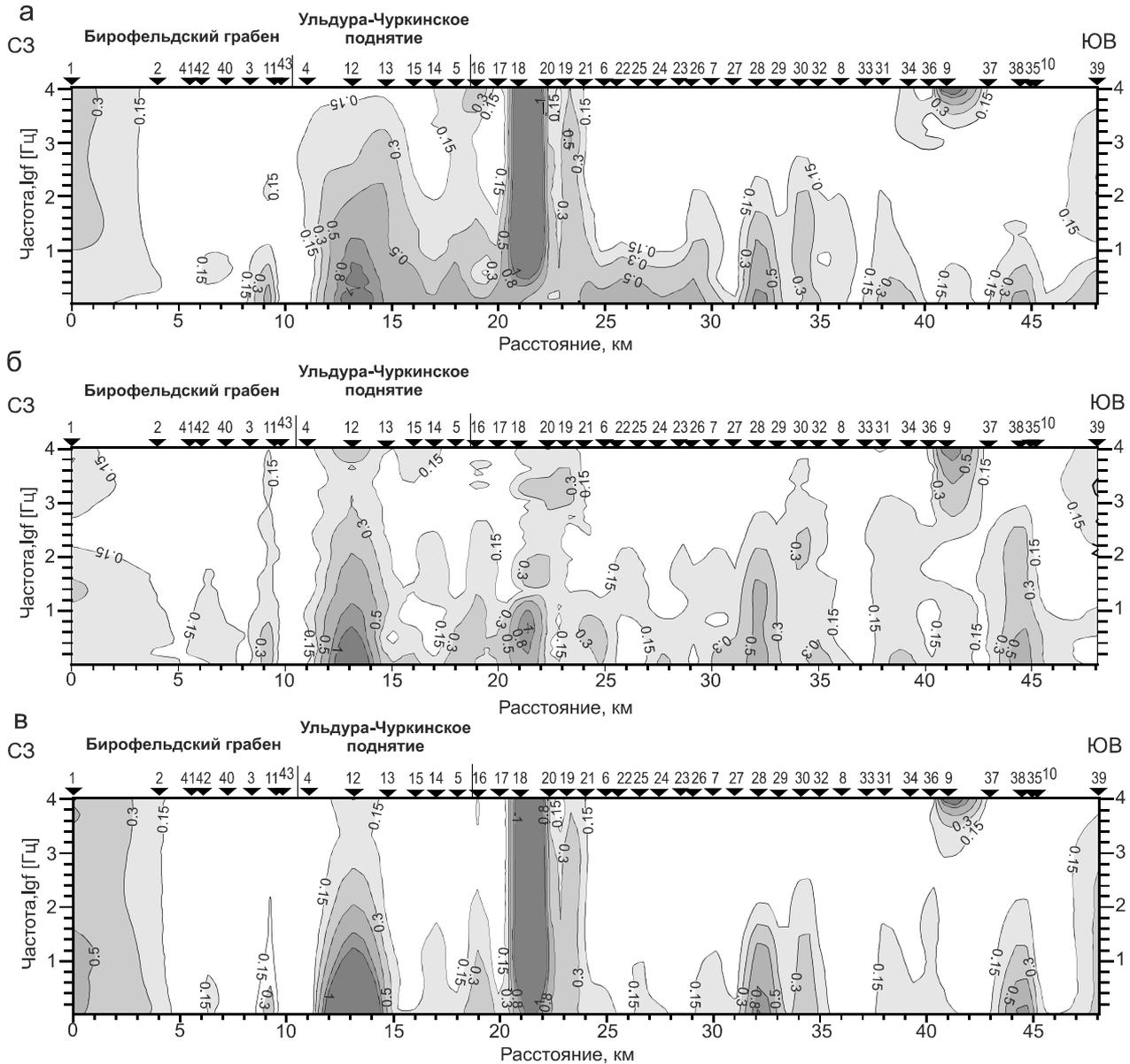


Рис. 2. Разрезы параметров неоднородности и асимметрии профиля БГ8.

а – магнитотеллурический параметр неоднородности (N_{ml}), б – параметр асимметрии Бара ($skew_B$), в – параметр асимметрии Свифта ($skew_S$).

Размерность среды профиля БГ1 и распределение неоднородностей во всем частотном диапазоне близки к таковым профиля БГ8. Таким образом, среда обоих профилей характеризуется как одномерная на частотах выше 10 Гц и как двухмерная на частотах ниже 10 Гц, осложненная наличием локальных трехмерных неоднородностей, фиксируемых во всем диапазоне частот. В связи с этим интерпретацию кривых АМТЗ можно проводить в рамках одномерной и двухмерной модели. На первом этапе была выполнена одномерная интерпретация, а на втором – двухмерная.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Одномерная интерпретация проводилась с использованием программы MTS-Prof INV фирмы «Северо-Запад» (г. Москва). В интерпретации использовались средние кривые каждого пункта зондирования для уменьшения влияния локальных геоэлектрических неоднородностей. Двухмерная интерпретация проводилась после предварительного пересчета кривых АМТЗ в главные направления поляризации электромагнитного поля, учета статического сдвига с использованием программы [15].

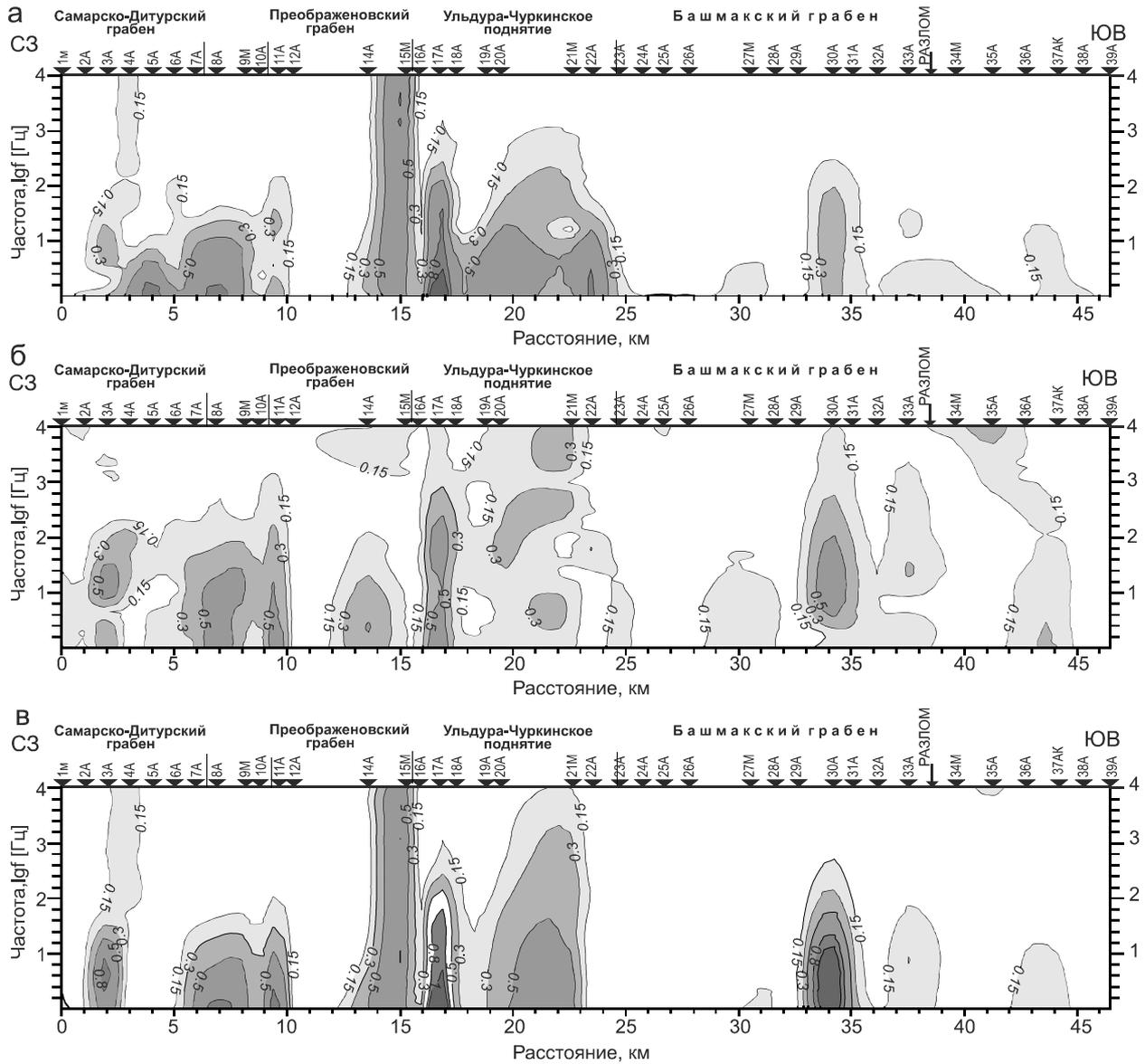


Рис. 3. Разрезы параметров неоднородности и асимметрии профиля БГ1

а – магнитотеллурический параметр неоднородности (N_m), б – параметр асимметрии Бара ($skew_B$), в – параметр асимметрии Свифта ($skew_S$).

Все расчеты выполнены с учетом рельефа. Геоэлектрические разрезы рассчитаны до глубины 6 км. Результаты интерпретации по каждому профилю показаны на рис. 4 и 5.

Профиль БГ8

На основе результатов одномерной (рис. 4 а) и двухмерной (рис. 4 б) инверсии магнитотеллурических данных и структурной схемы САОБ (рис.1) была построена геоэлектрическая модель профиля БГ8 (рис. 4 в). На геоэлектрических разрезах (рис. 4 а, б) в центральной части профиля выделяется неоднородная область высокого ЭС до 10 000 Ом·м, окруженная об-

ластями низких ЭС от 10 до 100 Ом·м. Центральная область высокого ЭС разбита на две части зоной низких ЭС до 100 Ом·м. Северо-западная часть области высокого ЭС, которая соответствует Ульдура-Чуркинскому поднятию, характеризуется неоднородным строением, выраженным высокими ЭС от 1 000 до 5 000 Ом·м верхней части разреза до глубины примерно 2 км и подстилающей ее нижней частью пониженного ЭС от 500 до 5 000 Ом·м. Характер распределения ЭС соответствует структуре пологого срыва и сдвига пород высокого сопротивления верхней части разреза от своего основания. Юго-восточная часть области высокого ЭС имеет однородное строение с сопротивлениями от

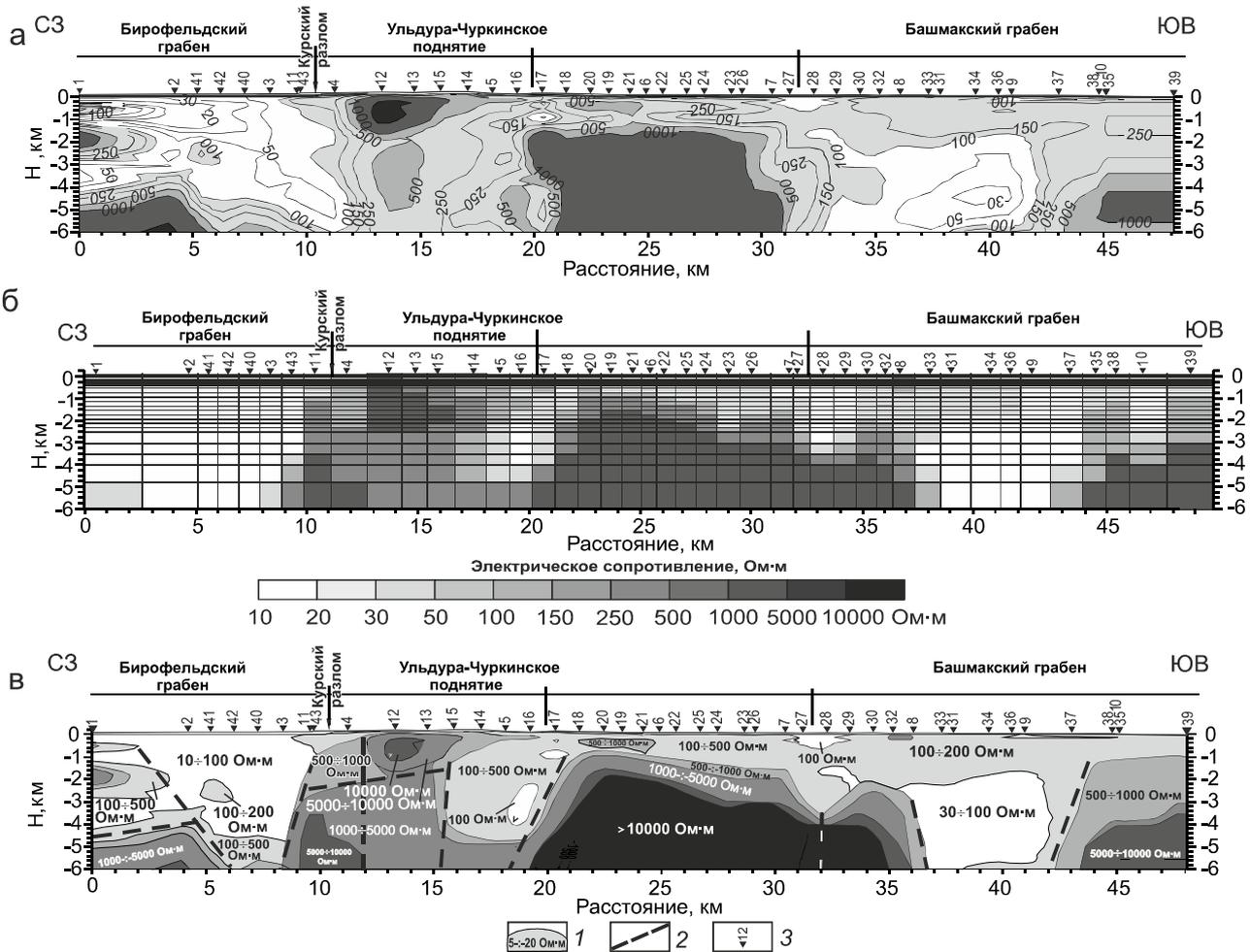


Рис. 4. Геоэлектрические разрезы и модель по профилю БГ8.

а – геоэлектрический разрез, построенный по результатам одномерной интерпретации данных АМТЗ; изолинии с цифрами обозначают значение удельного электрического сопротивления в Ом·м; б – геоэлектрическая модель, построенная по результатам двухмерной интерпретации данных АМТЗ; в – геоэлектрическая модель, построенная по результатам одномерной и двухмерной интерпретации данных АМТЗ.

1 – геологические объекты, имеющие близкие значения электрического сопротивления в Ом·м, 2 – разрывные нарушения, предполагаемые, 3 – пункты АМТЗ и их номера.

1 000 Ом·м и выше. Области низких ЭС также несколько отличаются друг от друга и соответствуют грабенам – Бирофельдскому и Башмакскому. В Башмакском грабене область низких сопротивлений перекрыта до глубины 1–2 км породами с повышенными значениями ЭС от 100 до 200 Ом·м. Из геоэлектрической модели (рис. 4 в) видно, что она имеет сложное слоисто-блоковое строение. Границы между блоками резкие и крутые, предполагается здесь наличие разломов. Курский разлом наиболее отчетливо проявился на разрезе одномерной инверсии магнитотеллурических данных как граница между областями высокого и низкого ЭС. На геоэлектрическом разрезе двумерной инверсии Курский разлом проявился менее контрастно и более сложно. В верхней части разреза до глубины 2.5 км он

выделяется лишь блоком пониженного сопротивления 500÷1 000 Ом·м. Граница между областями высокого и низкого ЭС проходит в 1–2 км к северо-западу от его положения, полученного со структурной карты САОБ (рис. 1).

Профиль БГ1

На основе геоэлектрических разрезов (рис. 5 а, б) и структурной схемы САОБ (рис. 1) построена геоэлектрическая модель профиля БГ1 (рис. 5 в). Разрезы одномерной (рис. 5 а) и двумерной (рис. 5 б) инверсии магнитотеллурических данных показывают наличие в их основании пород высокого ЭС свыше 1 000 Ом·м, которые разделены зонами пониженного сопротивления, трактуемыми как разломы. Сверху залегают слои с сопротивлениями от 10 до 100 Ом·м,

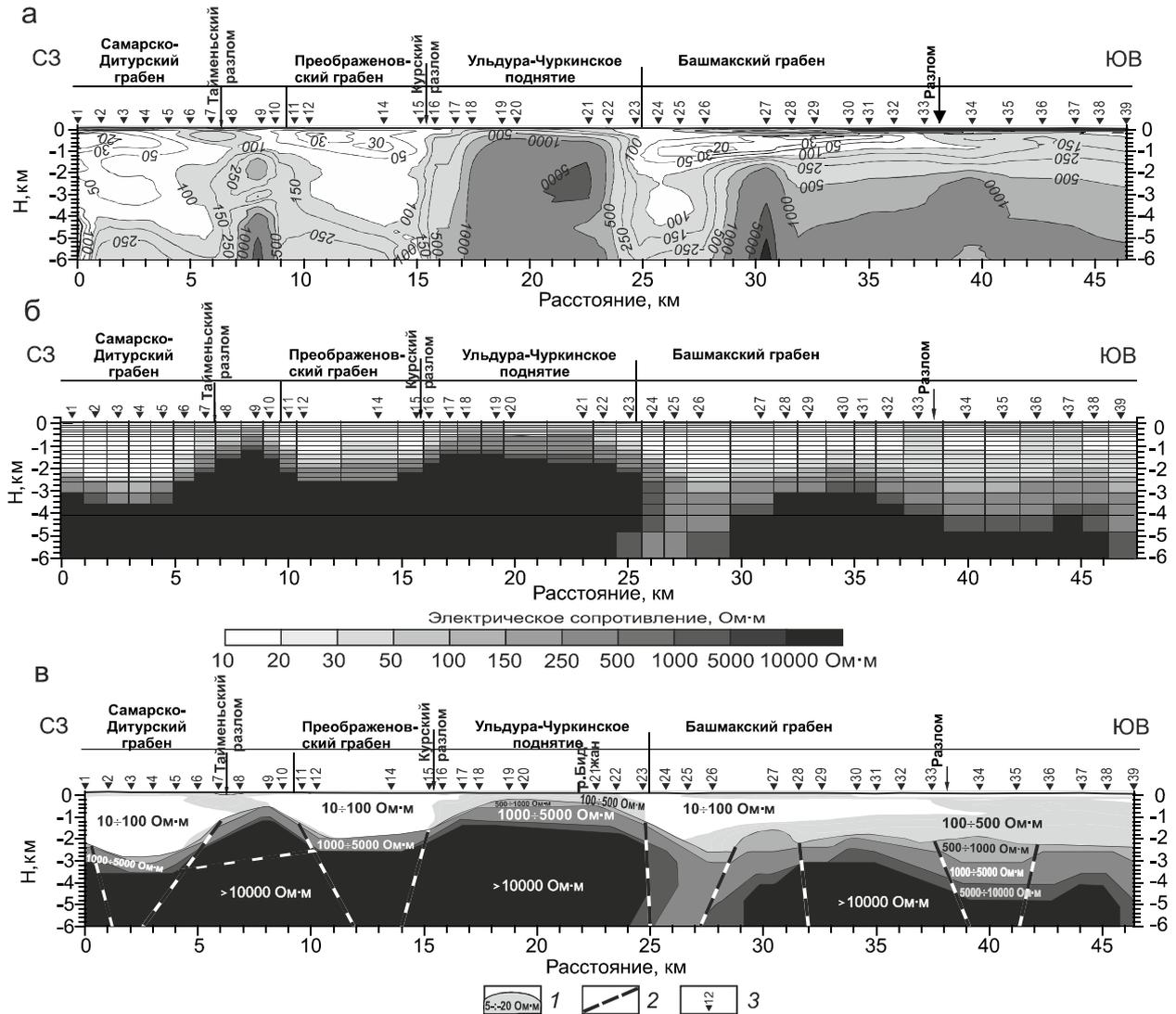


Рис. 5. Геоэлектрические разрезы и модель по профилю БГ1.

а – геоэлектрический разрез, построенный по результатам одномерной интерпретации данных АМТЗ; изолинии с цифрами обозначают значение удельного электрического сопротивления в Ом·м; б – геоэлектрическая модель, построенная по результатам двумерной интерпретации данных АМТЗ; в – геоэлектрическая модель, построенный по результатам одномерной и двумерной интерпретации данных АМТЗ.

1 – геологические объекты, имеющие близкие значения электрического сопротивления в Ом·м, 2 – разрывные нарушения, предполагаемые, 3 – пункты АМТЗ и их номера.

которые соответствуют осадочному чехлу грабенов – Самарско-Дитурского, Преображенского и Башмакского. В Башмакском грабене область низких ЭС перекрыта породами с повышенными значениями ЭС от 100 до 200 Ом·м мощностью в несколько сотен метров. Строение грабенов и значения ЭС хорошо согласуются с результатами ВЭЗ [10]. Ульдура-Чуркинское поднятие выделяется блоком высокого ЭС свыше 10 000 Ом·м, почти выходящим на поверхность и перекрытым породами с сопротивлениями 100÷500 Ом·м мощностью до 200 м. Курский разлом

наиболее отчетливо проявился на разрезе одномерной инверсии магнитотеллурических данных как граница между областями высокого и низкого сопротивлений. На геоэлектрическом разрезе двухмерной инверсии Курский разлом практически не проявлен.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Сравнение результатов интерпретации АМТЗ двух профилей, расположенных почти параллельно друг другу на расстоянии около 35 км, показало как их сходство, так и различия. Для выяснения этого

были привлечены результаты АМТЗ по профилям БГ5 и БГ6 из работы [8], проходящих примерно параллельно профилям БГ1 и БГ8 к СВ на расстояниях 35 и 20 км, соответственно (рис. 1). На рис. 6 показаны все профили, изображенные в одинаковом горизонтальном и вертикальном масштабе, едином диапазоне ЭС и пространственно совмещенные по линии Курского разлома как сквозной структуры, пересеченной всеми профилями.

Сопоставление геоэлектрических разрезов показывает, что Курский разлом имеет сложное строение и на всех разрезах, за исключением крайнего юго-западного (БГ1), отмечается низкими ЭС от первых единиц Ом·м до первых сотен Ом·м, что, вероятно, связано с составом заполняющего его материала. Являясь границей между Ульдура-Чуркинским поднятием и серией грабен на ЮЗ, на СВ (профиль БГ6), он характеризуется примерно пятикилометровой сложнопостроенной зоной пониженных ЭС 100÷500 Ом·м. На ЮВ (профиль БГ1) его строение осложнено примыканием с СЗ Тайменского разлома. Подобные структуры наблюдаются вдоль простирания Курского разлома на СВ, например, примыкание Куканского разлома.

Рассматривая строение фундамента СЗ борта САОБ, кровля которого на геоэлектрических разрезах соответствует, согласно [9], породам с сопротивлениями более 500 Ом·м, можно отметить его неоднородное строение как вдоль профилей, так и на соседних профилях. Строение фундамента блоковое, блоки оформлены крутопадающими разломами, опущены на различную глубину и имеют разное ЭС. На рис. 6 видно, что ЭС фундамента профилей БГ6 и БГ5 составляет 500–600 Ом·м, и меньше чем у профилей БГ8 и БГ1, величина которого составляет от 500 Ом·м до более 10 000 Ом·м. Причиной этого может быть разный состав и возраст слагающих его пород. Различие блоков фундамента находит свое подтверждение из анализа структуры и характера поведения гравитационного и магнитного полей, проведенного в работе [12], согласно которому фундамент геоэлектрических разрезов профилей БГ8 и БГ1 соответствует породам преимущественно докембрийско-палеозойского структурно-формационного комплекса, а профилей БГ6 и БГ5 – коллажу палеозойским (девон–пермь) и раннемезозойским (триас) образованиям.

Согласно [5], Ульдура-Чуркинское поднятие сложено ордовикскими гранитоидами биробиджанского комплекса, песчаниками, алевролитами, конгломератами, сланцами, известняками девона, гранитами и гранодиоритами карбона, пермскими песчаниками, алевролитами, аргиллитами, гравелитами, конгломератами, известняками, риолитами, их туфами и иг-

нимбридами, триасовыми песчаниками чуркинской толщи, прорванными позднемеловыми гранитоидами баджало-дуссеалинского комплекса. Удельное электрическое сопротивление влагонасыщенных вулканических горных пород составляет не менее нескольких тысяч Ом·м, такие же значения имеют и сухие осадочные горные породы [14]. Удельное электрическое сопротивление влагонасыщенных осадочных горных пород в зависимости от пористости и трещиноватости варьирует от первых десятков Ом·м до сотни тысяч Ом·м, а при насыщении соляными растворами оно может понижаться у глин, аргиллитов, глинистых сланцев, алевролитов, песчаников и конгломератов до первых единиц Ом·м, у известняков до первых десятков Ом·м. В случае наличия рудных минералов, графита или углистого вещества удельное электрическое сопротивление вышеперечисленных осадочных пород находится в диапазоне от 1 до 100 Ом·м.

Исходя из геологических данных о составе пород, слагающих Ульдура-Чуркинское поднятие [5], и электрических свойствах горных пород [14], можно сделать вывод о гетерогенном строении фундамента СЗ части САОБ.

Наибольший интерес вызывает геоэлектрический разрез Ульдура-Чуркинское поднятия. До глубины примерно 2 км на трех профилях БГ6, БГ5 и БГ8 оно характеризуется повышенными до 500–600 Ом·м (профили БГ6, БГ5) и высокими до 5–10 тыс. Ом·м (профиль БГ8) ЭС, под которыми располагаются зоны низких значений ЭС от 50 до 150 Ом·м. В связи с большой дифференциацией значений ЭС на геоэлектрическом разрезе профиля БГ8 это проявлено наиболее отчетливо. На крайнем ЮЗ профиле БГ1 такого не наблюдается. Сравнение геоэлектрических разрезов профилей БГ5 и БГ8 показывает их значительное сходство, несмотря на значительную разницу в величинах ЭС. Рассматривая все четыре разреза, можно отметить, что с ЮВ Ульдура-Чуркинское поднятие отделяется зонами пониженных ЭС, которые могут быть связаны с разломом. Пространственное поведение этой разломной зоны довольно сложное, на геоэлектрических разрезах профилей БГ6 и БГ5 она близка к вертикальной, а на геоэлектрических разрезах профилей БГ8 и БГ1 отмечается ее СЗ падение под Ульдура-Чуркинское поднятие.

Чем может быть вызвано наличие низкого ЭС под Ульдура-Чуркинским поднятием?

В предыдущей работе [8] для объяснения данного явления была предложена модель активного рифтинга, компьютерные расчеты которого были сделаны в [4] (рис. 6 д). Суть ее заключается в том, что при активном рифтинге внешние и внутренние листрические разломы характеризуются разной кинематикой.

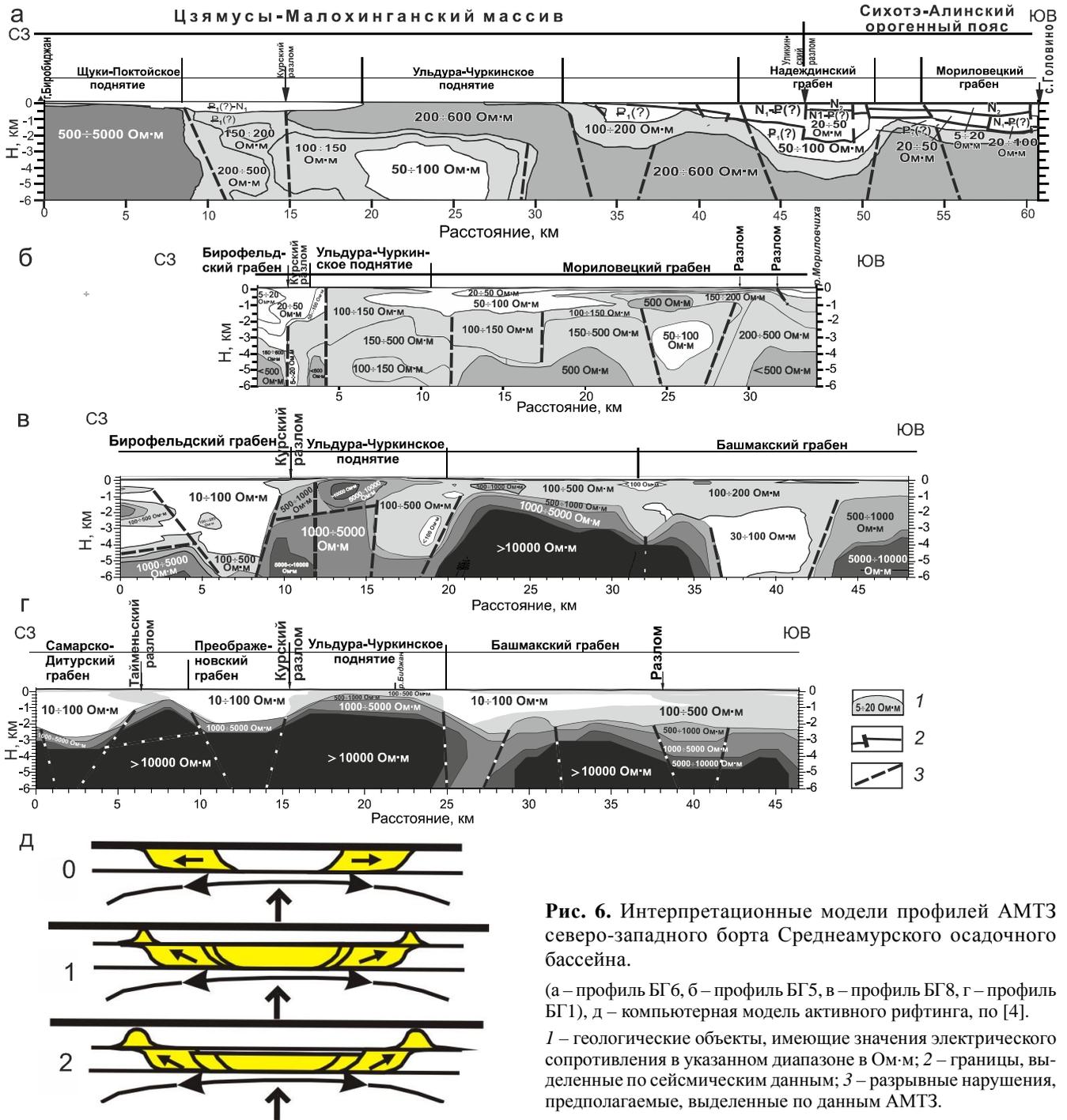


Рис. 6. Интерпретационные модели профилей АМТЗ северо-западного борта Среднеамурского осадочного бассейна.

(а – профиль БГ6, б – профиль БГ5, в – профиль БГ8, г – профиль БГ1), д – компьютерная модель активного рифтинга, по [4].

1 – геологические объекты, имеющие значения электрического сопротивления в указанном диапазоне в Ом·м; 2 – границы, выделенные по сейсмическим данным; 3 – разрывные нарушения, предполагаемые, выделенные по данным АМТЗ.

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. Вследствие данного процесса предполагается, что в период формирования «плеча» грабена, которым являлось Ульдура-Чуркин-

ское поднятие, произошло погребение осадков зоны Курского разлома, ЭС которых значительно меньше перекрывающих их пород. В ЮВ части САОБ таким «плечом» является Хехцирское поднятие.

Другое объяснение низкого ЭС под Ульдура-Чуркинским поднятием может быть связано с глобальными сдвиговыми перемещениями. Согласно [13], на первом этапе развития, в период с конца ран-

него мела до палеогена включительно, Курский разлом развивался как структура сжатия с формированием левых взбросо-сдвигов и осадочных бассейнов типа пулл-апарт. На втором этапе, в течение позднего мела–кайнозоя, началось развитие осдвиговых структур растяжения. Предполагается, что возможна трансформация сдвигов в шарьяжно-надвиговые смещения, формирование дуплекса сжатия как система взбросо-надвигов. Согласно этому в работе [13] для СЗ борта САОБ была составлена структурно-кинематическая схема формирования грабенов. На ней показано, что ЮВ борта грабенов крутые и оформлены крутопадающими на СЗ материнскими сдвигами, трансформированными на участках растяжения фундамента бассейнов в сбросы, а СЗ – наоборот, пологие и интерпретируются как антитетические по отношению к материнским сбросам. Сопоставляя данную схему с геоэлектрическими разрезами можно отметить, что выделенный антитетический сброс Башмакского грабена не согласуется ни с геоэлектрическими данными, ни со структурной схемой (рис. 1). На рис. 1 видно, что в Башмакском грабене, в противоположность Бирофельдскому, Преображенковскому и Самарско-Дитурскому, крутым бортом является СЗ, что подтверждают и геоэлектрические разрезы, т.е. Ульдура-Чуркинское поднятие является центральной (осевой) структурой, оконтуренной с двух сторон разломами с примыкающим к нему наиболее погруженным фундаментом грабенов. Поэтому вероятно, что структурные преобразования фундамента этой части САОБ прошли при влиянии и других факторов.

Еще одно объяснение низких ЭС под Ульдура-Чуркинским поднятием может быть связано с магматической деятельностью. При своем образовании позднемеловые гранитоиды баджало-дуссеалинского комплекса высокого ЭС перекрыли более древние осадочные породы пониженного ЭС, а различные перемещения в зоне Курского разлома, разнообразный характер которых показан в работе [10], привели к их дроблению, насыщению влагой и минерализованными подземными водами и, возможно, угленосными образованиями. Подтверждением этому может служить, например, наличие Ушумунского бурогоугольного месторождения в Бирофельдском грабене.

Таким образом, анализ геоэлектрических разрезов в комплексе с другими геофизическими и геологическими данными показывает, что формирование фундамента СЗ борта САОБ произошло в результате воздействия глобальных левосдвиговых перемещений, магматической деятельности и рифтогенеза.

Осадочный чехол СЗ борта САОБ имеет разнообразное строение и ЭС. Распределение ЭС осадоч-

ного чехла показывает его слоистое строение, со слоями, слабо наклоненными в сторону Ульдура-Чуркинское поднятия, при приближении к которому наклон слоев увеличивается. В прибортовых частях грабенов отмечается нарушение горизонтального распределения ЭС, что свидетельствует о наличии разломов. Бирофельдский грабен характеризуется наиболее низкими значениями ЭС и наибольшей мощностью осадков сопротивлением до 100 Ом·м, которая на профиле БГ8 достигает 5 км. Такие же мощности и ЭС отмечаются в Башмакском и Мориловецком грабенах, но, в отличие от Бирофельдского, здесь породы с низкими значениями ЭС выделяются на глубинах свыше 2 км, а сверху они перекрыты осадочными образованиями с повышенным ЭС 100–200 Ом·м, среди которых располагаются отдельные включения с ЭС до 500 Ом·м. Это согласуется с результатами ВЭЗ, а наличие геологических объектов повышенного ЭС среди осадочных толщ пониженного ЭС связывается с магматическими образованиями [10].

ВЫВОДЫ

В результате аудиоманнитотеллурических зондирований, выполненных на СЗ борту САОБ вкост его простирания, выявлено, что Бирофельдский грабен имеет наибольшую мощность осадочного чехла (до 5 км) и наименьшее ЭС (5 Ом·м). Мощность осадочного чехла остальных грабенов составляет около 2–3 км с ЭС первые десятки Ом·м. В Мориловецком и Башмакском грабенах отмечается неоднородное строение осадочного чехла и повышенные значения ЭС 100–200 Ом·м в верхней части с отдельными включениями до 500 Ом·м.

Фундамент САОБ имеет гетерогенное блоковое строение, характеризуется дифференцированным ЭС. Отмечается увеличение ЭС пород фундамента с СВ на ЮЗ, что связывается с блоками разного возраста и состава. На ЮЗ предполагается наличие более древнего докембрийско-палеозойского структурно-формационного комплекса, а на СВ – палеозойских (девон–пермь) и раннемезозойских (триас) образований.

Подтверждена выявленная ранее [8] аномалия пониженного ЭС на глубинах 2–5 км под Ульдура-Чуркинским поднятием. Природа аномалии связывается с погребенными осадочными образованиями различного возраста в результате глобальных левосдвиговых перемещений, магматической деятельности и рифтогенеза.

Курский разлом имеет сложное строение, представляет из себя зону дробления и отмечается низкими ЭС от первых единиц Ом·м до первых сотен Ом·м, за исключением крайнего юго-западного профиля, где он проявился менее контрастно.

Работа выполнена при поддержке гранта ДВО РАН №15-I-2-068 и в рамках Государственного задания ИТиГ ДВО РАН.

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 Второго Всерос. симпоз. с междунар. участием и молодежной научной школы, посвященных памяти акад. Н.А.Логачева и Е.Е. Милановского. В 2-х т. Т. 1. Иркутск: Ин-т земной коры СО РАН, 2013. С. 86–89.
5. Государственная геологическая карта Российской Федерации. 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Дальневосточная. Лист М-53. Хабаровск: Объясн. зап. СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2009. 376 с. + 3 вкл. (Минприроды России, Роснедра, ФГУП «ВСЕГЕИ», ФГУП «Дальгеофизика»).
6. Забродин В.Ю., Рыбас О.В., Гильманова Г.З. Разломная тектоника материковой части Дальнего Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2015. 132 с.
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. Каплун В.Б. Геоэлектрические разрезы северо-западного борта Среднеамурского осадочного бассейна (Дальний Восток) по данным магнитотеллурических зондирований // Тихоокеан. геология. 2014. Т. 33, № 6. С. 50–62.
9. 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.
10. Меркулова Т.В., Кириллова Г.Л. Строение и перспективы нефтегазоносности северных звеньев Итун-Иланьской ветви разломов Тан-Лу // Тихоокеан. геология. 2004. Т. 23, № 6. С. 55–75.
11. Потапов С.В. Соотношение поверхностной и глубинной структуры земной коры Приамурья и Приморья // Глубинное строение литосферы Дальневосточного региона (по геофизическим данным). Владивосток, 1980. С. 43–53.
12. 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).
13. Уткин В.П. Сдвиговый структурный парагенезис и его роль в континентальном рифтогенезе восточной окраины Азии // Тихоокеан. геология. 2013. Т. 32, № 3. С. 21–43.
14. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика). Справочник геофизика. М.: Недра, 1976. 527 с.
15. 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 Р.Г. Кулиничем

V.B. Kaplun

The structure of the northwestern boundary of the Middle Amur sedimentary basin (Russian Far East) from audiomagnetotelluric sounding data

The investigation results are described on the structure of the northwestern boundary of the Middle Amur sedimentary basin which were obtained after resumption of audiomagnetotelluric soundings. The geoelectric sections for two profiles across the basin strike are constructed, the sedimentary cover and basement structures are studied and their electrical properties are determined. The data of the earlier and present studies are compared which show low resistivity zones of 50÷150 Ohm·m beneath high-resistivity rocks of 500÷1000 Ohm·m in the northwestern part of the Ul'dura-Churki uplift at a 2 to 4 km depth which vanished in the southwestern part of the uplift. This is associated with strike-slip–overthrust processes due to graben formation in the area of junction with the Juamusi-Bureya massif in the Kur fault zone (Yilan-Yitong branch of the Tan-Lu fault zone) and, also, with global left-lateral strike-slip displacements and volcanic activity.

Key words: audiomagnetotelluric soundings, deep structure, Middle Amur sedimentary basin, Kur fault, Far East of Russia.