

**СИСТЕМЫ ВЕРТИКАЛЬНЫХ НАРУШЕНИЙ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА
ТЕКТОНОСФЕРЫ В НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ ОБЛАСТЯХ САХАЛИНА (РОССИЯ) И
ТОНКИНСКОГО ЗАЛИВА (ВЬЕТНАМ) ПО ДАННЫМ МТЗ**

**В.М. Никифоров¹, Г.Н. Шкабарня^{1,2}, А.Ю. Жуковин¹, В.Б. Каплун³,
Н.А. Пальшин⁴, И.М. Варенцов⁵, До Хуы Куонг⁶, Фунг Ван Фать⁶, Хоанг Ван Вуонг⁶,
С.С. Старжинский¹**

¹ФГБУН Тихоокеанский океанологический институт им. В.И.Ильичева ДВО РАН, ул. Балтийская 43,
г. Владивосток, 690041; e-mail: nikiforovv@mail.ru

²ФГАОУВО Дальневосточный федеральный университет, ул. Суханова 8, г. Владивосток, 690950;
e-mail: shkabarnya@mail.ru

³ФГБУН 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

⁴Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, Нахимовский пр-т д.36, Москва, 117997;

⁵Центр геоэлектромагнитных исследований Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН,
а/я 30, г. Троицк, 142190;

⁶Институт морской геологии и геофизики Вьетнамской академии наук и технологий, 18 Hoang Quoc Viet str.
Cau Giay Distr., Ханой, Вьетнам; e-mail: dohuycuong_hanoi@yahoo.com

Поступила в редакцию 9 декабря 2015 г.

В работе рассмотрены аномалии поперечного тока, наблюдаемые при магнитотеллурических зондированиях (МТЗ) в зоне перехода от Азиатского континента к Тихому океану, и геоэлектрическая модель, в рамках которой можно объяснить эти эффекты. На основе результатов моделирования и новых данных МТЗ на Сахалине и в Северном Вьетнаме сформированы модели сверхглубинных флюидно-разломных систем, неотъемлемыми структурными элементами которых являются крутопадающие низкоомные и высокоомные линейные тела, пронизывающие всю толщу литосферы и уходящие глубоко в астеносферу. Структура этих систем является обоснованием глубинных и сверхглубинных разломов – зон, по которым флюиды мантийного происхождения имеют возможность миграции в осадочную толщу и на дневную поверхность, что позволяет рассматривать анизотропно-проводящие трещинные структуры, прилегающие к этим разломам, как наиболее благоприятные для образования скоплений углеводородов.

Ключевые слова: магнитотеллурическое зондирование, тектоносфера, аномалии поперечного тока, глубинная геоэлектрическая модель, сверхглубинные разломные системы, азимутальный анализ, глубинные флюиды, нефтегазоносные бассейны, Сахалин, Северный Вьетнам.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы резко вырос интерес к магнитотеллурическим (МТ) исследованиям в нефтегазопромышленном комплексе геофизических работ [9, 20, 22]. Хорошо известные достоинства МТ-методов – высокая чувствительность к изменениям литологии осадочных пород, глубинность освещения разреза, возможность изучения подэкранных толщ, проведения работ в труднодоступных районах и

т.д. – стали реализуемыми благодаря успехам в развитии методик, аппаратных и вычислительных средств. Особенно это хорошо заметно при работах в высокочастотном диапазоне вариаций (10 000 Гц–0.1 Гц) с целью изучения электрических характеристик горизонтов осадочной толщи, по которым и производится оценка перспективности дальнейших поисков углеводородов (УВ) [20, 22]. Вместе с тем, как показал опыт предшествующих работ в различ-

ных нефтегазоносных областях континента и шельфа, важное прогностическое значение имеет учет позиции исследуемого района относительно структуры земной коры и верхней мантии, главным образом глубинных разломов [10–12, 19].

Глубинные разломы способствуют созданию структур в осадочном чехле и трещинном основании, благоприятных для локализации углеводородов. Зоны динамического влияния разломов являются потенциально сейсмоактивными территориями. Обычно глубинные разломы выделяются по комплексу геолого-геофизических признаков: геоморфологическим, структурно-тектоническим, литолого-петрографическим, геофизическим. Распространенными методами геофизики для решения этих задач являются гравиметрия, магнитометрия, сейсмометрия, термометрия. Новый этап исследования глубинных разломов открывается в связи с широким внедрением магнитотеллурических методов исследования в диапазоне периодов $10 \text{ с} < T < 10\,000 \text{ с}$ для изучения глубинного строения планеты. Магнитотеллурические (МТЗ) и магнитовариационные (МВЗ) методы отличаются глубиной освещения геоэлектрического разреза и высокой чувствительностью к выделению вертикальных проводящих (флюидонасыщенных) неоднородностей [2]. В ходе работ этими методами за последние годы нами обнаружены сверхглубинные флюидоразломные системы (СГФРС), уходящие своими корнями в астеносферу. Такие структуры впервые выделены на Сахалине (Россия) и в северо-западной части Тонкинского залива (Вьетнам). В настоящей работе рассмотрены некоторые вопросы строения этих структур и связи с ними месторождений нефти и газа.

МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ НАД СВЕРХГЛУБИНЫМИ ФЛЮИДО-РАЗЛОМНЫМИ СИСТЕМАМИ

Удельное электрическое сопротивление сухих пород, слагающих оболочки Земли, монотонно уменьшается с глубиной под влиянием температуры и давления. Например, в известной геоэлектрической модели Земли Л.Л. Ваньяна [4, 5], часто именуемой «стандартным разрезом», оно уменьшается от $10\,000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ в основании осадочной толщи до $300 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ на глубине 100 км . Реальный же разрез, изученный в зоне перехода от Азиатского континента к Тихому океану, заметно отличается от стандартного [13, 14, 21]. В этой области Земли на фоне стандартного разреза появляются электропроводящие горизонты: астеносферный слой с удельным электрическим сопротивлением $5 \text{ Ом}\cdot\text{м} < \rho_{\text{Аст}} < 15 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, расположенный в интервале глубин $80\text{--}160 \text{ км}$; подкоровый литосферный слой $50 \text{ Ом}\cdot\text{м} < \rho_{\text{Лит}} < 200 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, расположенный в интерва-

ле глубин $30\text{--}70 \text{ км}$, и нижнекоровый слой $5 \text{ Ом}\cdot\text{м} < \rho_{\text{Кор}} < 15 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, расположенный в интервале глубин $20\text{--}30 \text{ км}$ [11]. Такой разрез принят нами в качестве нормального геоэлектрического разреза в зоне, прилегающей к береговой линии восточной окраины Азиатского континента. Нормальный разрез перекрывается толщей осадочных пород, характеризующихся средним уровнем удельного электрического сопротивления $2\text{--}20 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ и мощностью до $5\text{--}8 \text{ км}$, и толщей морских вод с удельным сопротивлением $0.25 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ и мощностью до 3 км .

Структура перекрывающих толщ определяет различное поведение кривых кажущегося сопротивления (ρ_k) вдоль и вкрест ее простираения. Особенности кривых хорошо изучены на двумерных моделях, где они соответствуют кривым Е-поляризации (продольная) и Н-поляризации (поперечная). Их основные свойства состоят в следующем: семейство продольных кривых ρ^{\parallel} , выполненных в пунктах с различной мощностью осадочного чехла на длинных периодах ($T > 500 \text{ с}$), стягиваются в единую кривую, однозначно отражающую глубинный геоэлектрический разрез. Поперечные же кривые ρ^{\perp} на длинных периодах образуют в зависимости от проводимости осадочной толщи семейство конформно смещенных кривых [1–3]. В известной модели [3], соответствующей контакту суша–море, за счет соприкосновения осадочной толщи и толщи водного слоя, отличающихся по суммарной электропроводности в сотни раз, возникает эффект смены формы поперечных кривых ρ^{\perp} . Но этот эффект слабо затухает в сторону континента и прослеживается на расстоянии в несколько сотен километров. Аномалии поперечного тока, часто наблюдаемые в зоне перехода от Азиатского континента к Тихому океану, отличаются тем, что изменение формы кривых ρ_k происходит на очень короткой базе, измеряемой в несколько км, а ширина аномалий не превышает первой сотни км (обычно колеблется в пределах $30\text{--}80 \text{ км}$). Аномальное поведение поперечного кажущегося сопротивления ρ^{\perp} проявляется в виде резкого увеличения его значений по мере роста периодов. В интервале периодов $200 \text{ с} < T < 10\,000 \text{ с}$ прослеживается четко выраженная восходящая ветвь. Поиск причины такого необычного поведения поперечных кривых кажущегося сопротивления в рассматриваемом регионе привел к созданию принципиально новой модели, в рамках которой можно объяснить наблюдаемые эффекты (рис. 1 а).

В модели на фоне нормального геоэлектрического разреза тектоносферы размещены неоднородности в виде субвертикальных сквозьлитосферных пластов шириной $2\text{--}4 \text{ км}$ и удельным электрическим сопротивлением $5 \text{ Ом}\cdot\text{м} < \rho_{\text{пл}} < 10 \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Эти пласты,

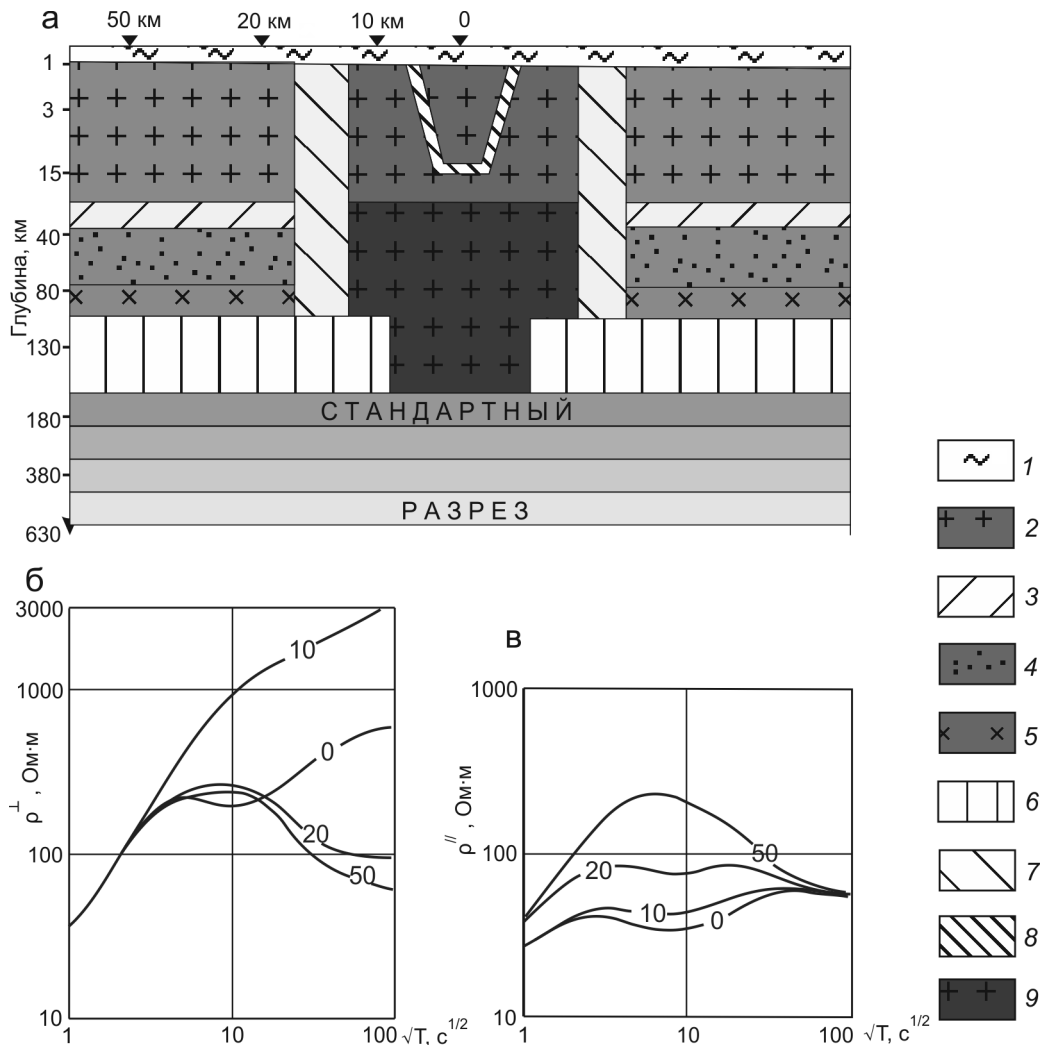


Рис 1. Геоэлектрическая модель тектоносферы Сахалина с системой вертикальных нарушений геоэлектрического разреза тектоносферы (а), теоретические кривые: поперечные ρ^\perp (б), продольные ρ^\parallel (в).

1 – образования осадочной толщи $\rho = 2-20$ Ом·м, 2 – образования верхней части земной коры $\rho = 1000-2000$ Ом·м, 3 – образования нижней части земной коры $\rho = 5-15$ Ом·м, 4 – подкоровый литосферный слой $\rho = 50-200$ Ом·м, 5 – нижнелитосферный слой $\rho = 800-10000$ Ом·м, 6 – образования астеносферного слоя $\rho = 5-15$ Ом·м, 7 – электропроводящие вертикальные пласты $\rho = 2-10$ Ом·м, 8 – образования локальных наклонных (вертикальных) неоднородностей в верхней части земной коры $\rho = 5-10$ Ом·м, 9 – высокоомные образования в астеносфере и литосфере $\rho > 2000$ Ом·м. Оцифровка ρ^\perp и ρ^\parallel соответствует расстоянию от центра модели.

отражающие в геоэлектрической модели флюидонасыщенные разломы, пронизывают всю литосферу и гальванически обеспечивают связь между проводящими образованиями осадочной толщи и астеносферы. Варьируя параметрами такой модели (удельным электрическим сопротивлением субвертикальных пластов, их шириной и расстоянием между ними), легко убедиться, что кажущееся сопротивление ρ^\perp в пунктах, расположенных между этими пластами, завышается на длинных периодах на 5–10 % относительно значений на флангах.

Введение высокоомного вертикального пласта в проводящую астеносферу в центральной части моде-

ли приводит к возникновению сильного аномального эффекта для поперечного тока на дневной поверхности в промежутке между низкоомными сквозь-литосферными пластами. На поперечных кривых ρ^\perp (рис. 1 б) отчетливо вырисовывается восходящая ветвь, протягивающаяся до периодов свыше 10 000 с. Эффект значительно усиливается, если верхнюю кромку высокоомного пласта довести до глубины 20–25 км и тем самым нарушить горизонтальную однородность нижнекорового относительно низкоомного слоя. Введение в геоэлектрический разрез верхней части земной коры дополнительных локальных электропроводящих неоднородностей усложня-

ет характер аномалии поперечного ρ^{\perp} , но не меняет главного свойства – наличия восходящей ветви в длиннопериодном диапазоне (рис. 1 б). Физически это можно объяснить тем, что часть горизонтальных токов, индуцированных в проводящих слоях земной коры и астеносферы посредством вертикальных флюидонасыщенных разломов, ответвляется в осадочную толщу и смешивается с током, индуцированным непосредственно в ней, что приводит к формированию аномально-восходящей ветви. Продольные кривые кажущегося сопротивления ρ^{\parallel} интегрально отражают наличие продольных проводников в литосфере в виде единой аномалии с максимумом кажущейся проводимости в центре модели (рис. 1 в).

Таким образом, численное моделирование геоэлектрических полей приводит к выводу о том, что аномальные эффекты, проявляющиеся в виде восходящей ветви кривой ρ^{\perp} до периодов свыше 10 000 с, связаны с наличием в тектоносфере уникальной структуры сверхглубинного заложения. Элементами этой структуры являются высокоомные вертикальные пласты под литосферой (в астеносфере) и низкоомные флюидонасыщенные разломы, пронизывающие литосферу целиком. Такая система субвертикальных пластов рассматривается нами как сверхглубинная флюидно-разломная система (СГФРС). Исключение из этой системы любого элемента приводит к резкому ослаблению аномального поведения поперечного кажущегося сопротивления.

СВЕРХГЛУБИННАЯ ФЛЮИДНО-РАЗЛОМНАЯ СИСТЕМА САХАЛИНА

На Сахалине выполнено более 1500 пунктов МТЗ в диапазоне периодов $10 \text{ с} < T < 3600 \text{ с}$ с целью решения задач поиска нефти и газа [10–12]. Кроме того в 2015 году проведены длительные наблюдения и регистрация 5 компонент электромагнитного поля в трех пунктах Южного Сахалина, что позволило уточнить параметры глубоких горизонтов тектоносферы и проверить обоснованность выделения аномалий кажущегося сопротивления (рис. 2).

Главной характеристикой кажущегося сопротивления острова является его разделение на две поляризации: продольную ρ_{xy} , электрические линии которой ориентированы поперек острова в направлении север–юг, и поперечную ρ_{yx} , электрические линии которой ориентированы вдоль простирания острова в направлении запад–восток. Форма ρ_{xy} единообразна на периодах $T > 500 \text{ с}$ практически на всей территории острова (рис. 2 в) и представлена ниспадающей ветвью. Дисперсия уровня ρ_{xy} для всей площади не превышает 30 %. Средняя кривая ρ_{xy} соответствует

нормальному геоэлектрическому разрезу региона. В интервале периодов $10 \text{ с} < T < 500 \text{ с}$ кривые ρ_{xy} в западной части острова отличаются от таковых в восточной части (рис. 2 а, в). На западе на фоне общего подъема кривой ρ_k отмечается слабый перегиб в окрестности периода $T \sim 100 \text{ с}$. На востоке перегиб трансформируется в четкий минимум. Кривые ρ_{xy} в центральной части острова имеют промежуточную форму. В интервале периодов $10 \text{ с} < T < 60 \text{ с}$ дисперсия ρ_{xy} сокращается, а индивидуальные особенности ρ_{xy} тесно связаны с проводимостью и удельным сопротивлением осадочной толщи. На юго-западе Сахалина (п-ов Крильон) выделяется небольшой фрагмент территории, где поведение ρ_{xy} аналогично его поведению на востоке.

Характер поперечных кривых ρ_{yx} более сложный. Прежде всего, они резко меняются по уровню ρ_k . При относительной конформности расхождение уровня ρ_k может достигать трех порядков. Как показано в работе [10], уровень ρ_{yx} поперечных кривых пропорционален величине удельного сопротивления приповерхностного слоя мощностью менее 100 м. На территориях острова, прилегающих к Татарскому проливу и Охотскому морю, форма поперечных кривых ρ_{yx} близка к форме продольных кривых ρ_{xy} (рис. 2 б, в, зоны III, IV). Непременным атрибутом аномальных кривых ρ_{yx} является восходящая ветвь в интервале периодов $T > 400 \text{ с}$ (рис. 2 б). В предельном случае ветвь располагается в диапазоне $10 \text{ с} < T < 10\,000 \text{ с}$. Переход от нормальных поперечных кривых к аномальным происходит резко, на расстоянии 4–8 км. Линии смены типов кривых представляют собой отрезки прямых, сочленяющихся между собой кулисообразно. На западе острова отдельные кулисы простираются в северо-северо-восточном направлении. На востоке острова – в северо-северо-западном направлении. В этой части острова отдельные кулисы приурочены к известным разломам: Пильгунскому, Дагинскому, Лунскому, Пограничному [19]. Границы смены типов ρ_{yx} в Татарском проливе и заливе Терпения выделены предположительно, поскольку на юге острова нормальные поперечные кривые не обнаружены.

Численное моделирование данных МТЗ по профилю АБ, пересекающему Татарский пролив, северную часть острова и шельф Охотского моря (рис. 3 а), позволило установить основные черты геоэлектрической модели.

В стандартном геоэлектрическом разрезе развита относительно низкоомная ($5 \text{ Ом}\cdot\text{м} < \rho < 10 \text{ Ом}\cdot\text{м}$) астеносфера. Ее кровля под Татарским проливом и в восточной части Сахалина располагается на глубине около 80 км (рис. 4 а). В центре острова она погруже-

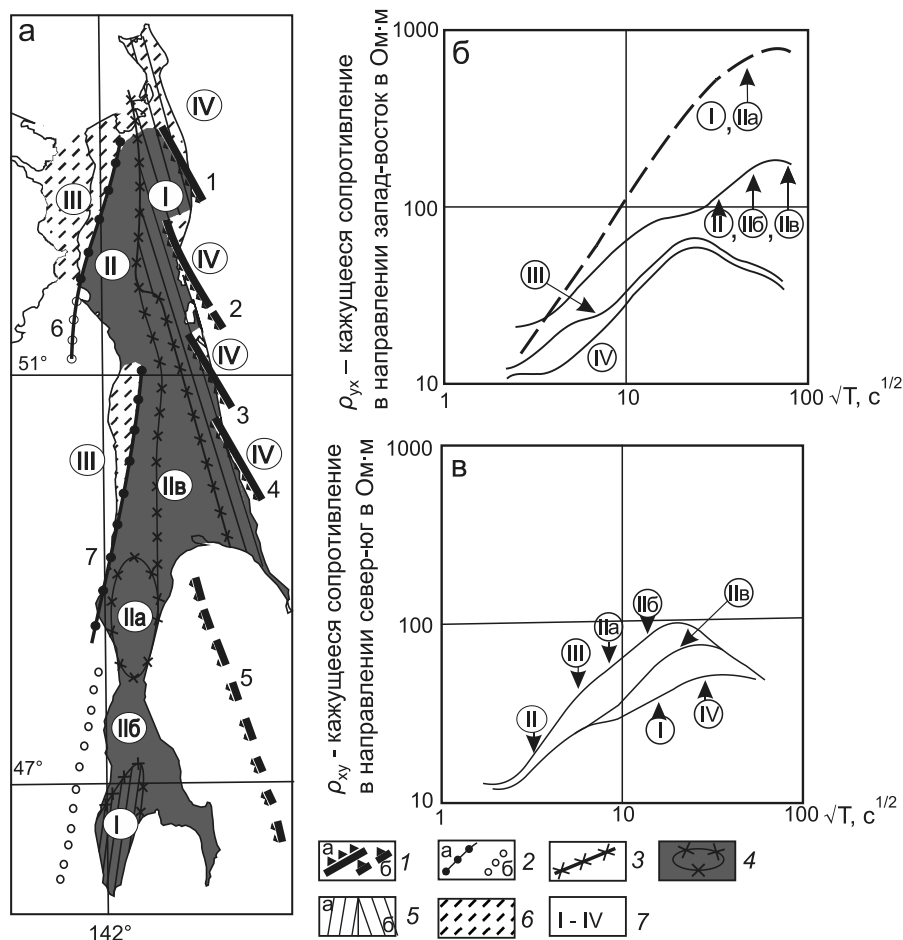


Рис. 2. Схема геоэлектрических районов Сахалина (а) и типы поперечных (б) и продольных (в) кривых ρ_k .

I – разломы, по которым происходит резкая смена типа поперечных кривых МТЗ на востоке острова (а – установленные, б – предполагаемые): 1 – Пильтунский, 2 – Дагинский, 3 – Лунский, 4 – Пограничный, 5 – Терпеньевский; 2 – разломы, по которым происходит смена типа ρ_{yx} на западе острова (а – установленные, б – предполагаемые): 6 – Амурский, 7 – Камышовский; 3 – границы зон разных типов кривых; 4 – территория развития поперечных (ρ_{yx}) кривых с аномальной восходящей ветвью; 5 – территории развития продольных (ρ_{xy}) кривых, отражающих наличие глубинных проводников, направление штриховки соответствует направлению максимальной проводимости пород; 6 – территория развития нормальных кривых ρ_{xy} и ρ_{yx} ; 7 – номера геоэлектрических районов и типов кривых ρ_{xy} и ρ_{yx} .

на до 100 км. Положение подошвы астеносферного слоя определено неуверенно. Ее глубина, вероятно, составляет около 160 км. Подкорвая литосфера, расположенная между границей Мохо и кровлей астеносферы, характеризуется удельным электрическим сопротивлением 150–300 Ом·м. Возможно, для ее нижней части характерны более высокие его значения, достигающие 1000 Ом·м. Кровля консолидированной земной коры располагается в интервале глубин 2–8 км. Подошва (граница Мохо) находится на глубине 22–35 км под Татарским проливом и на востоке острова и погружается до 32 км в центре острова. Нижняя часть коры имеет удельное сопротивление 5–10 Ом·м, верхняя – до 2000 Ом·м. Образования консолидированной земной коры перекрыты слоем анизотропно-проводящих (трещиноватых)

пород мощностью до 3–4 км. Их сопротивление в широтном направлении в 3–5 раз меньше, чем в меридиональном, и варьирует в пределах 5–20 Ом·м. Трещиноватый комплекс частично включает в себя породы верхней части фундамента, а также литифицированные породы осадочного чехла широкого возрастного диапазона: палеозойские, мезозойские, а на отдельных участках – кайнозойские вплоть до среднего миоцена (окобыкайская свита). На северо-западе Сахалина анизотропно-проводящий комплекс перекрыт вулканогенно-осадочными образованиями верхнемелового–палеогенового возраста мощностью до 2 км, с высоким уровнем удельного электрического сопротивления, превосходящем 500–1000 Ом·м. На гетерогенной поверхности, образованной вулканогенно-осадочными и трещиноватыми комплексами, за-

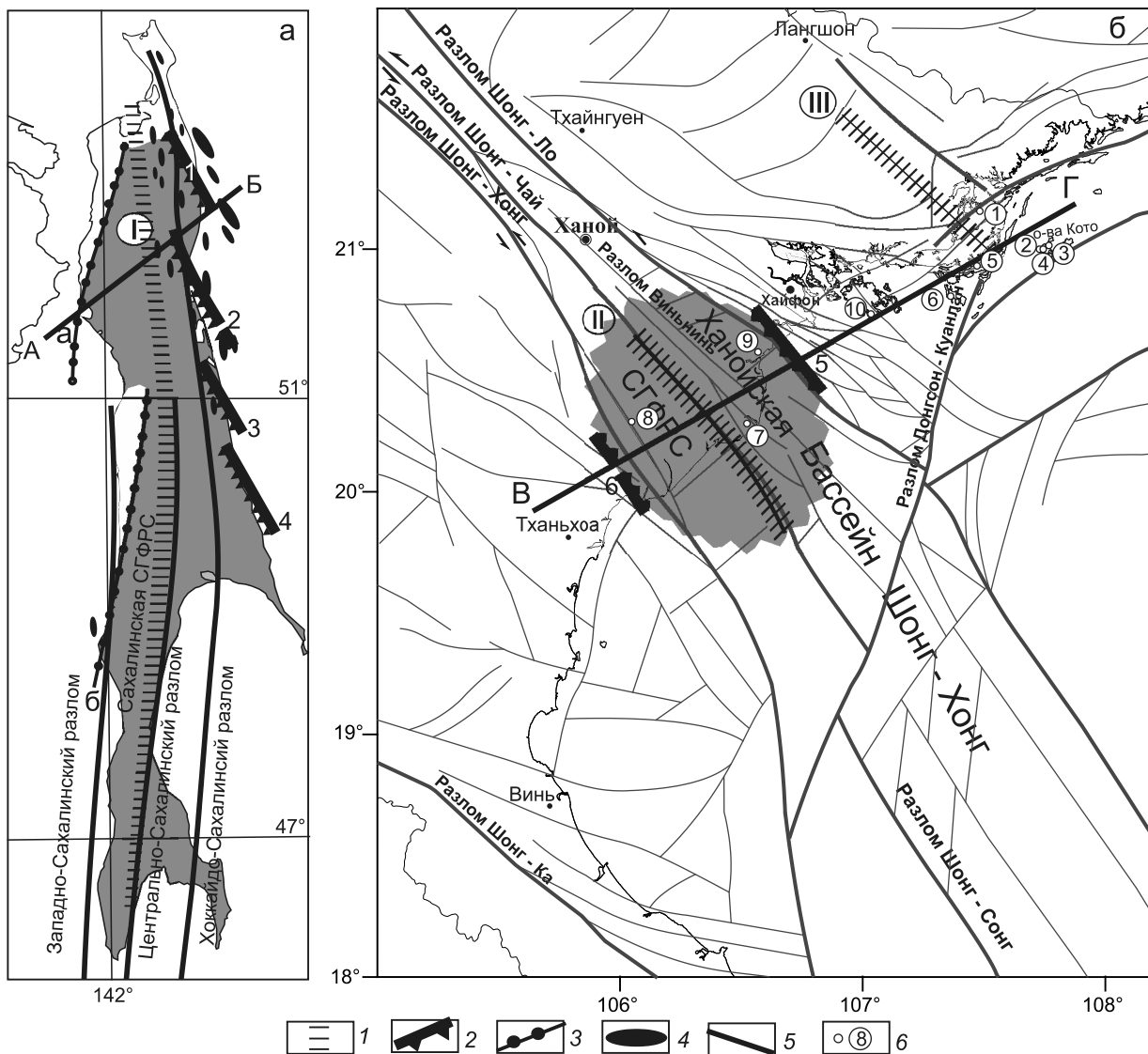


Рис. 3. Сравнение сверхглубинных флюидно-разломных систем Сахалина (а) и северо-западной части Тонкинского залива (б).

1 – сверхглубинные разломы в астеносфере: I – Центральнo-Сахалинский, II – Разлом Шонг-Чай, III – разлом Лонг-Шонг; 2 – флюидонасыщенные электропроводящие разломы в литосфере: 1 – Пильгунский, 2 – Ныйский, 3 – Лунский, 4 – Пограничный, 5 – разлом Шонг-Ло, 6 – разлом Шонг-Хонг; 3 – система электропроводящих тел центрального типа: а – Амурская, б – Западно-Сахалинская; 4 – месторождения нефти и газа; 5 – прочие разломы; 6 – пункты МТЗ в северо-западной части Тонкинского залива. АБ, ВГ – линии профилей глубинных разрезов.

легают нормально-осадочные, стратифицированные по литологии и электрическому сопротивлению породы. Их сопротивление определяется соотношением песчаных (около 100 Ом·м) и глинистых (2–5 Ом·м) разновидностей. Среднее сопротивление всей толщи нормально-осадочных пород составляет 8–10 Ом·м, мощность достигает 5 км.

Аномальный характер экспериментальных кривых ρ_{yx} в центральной части острова вызван вертикальными проводниками, пронизывающими литосферу и обеспечивающими гальванический контакт

осадочной толщи с астеносферой. На востоке острова такими проводниками являются электропроводящие крутопадающие плоскости глубинных разломов: Пильгунского, Дагинского, Лунского, Пограничного. Эти плоскости, простирающиеся в субмеридиональном направлении, создают избыток глубинной электропроводности, фиксируемый на кривых ρ_{xy} в виде широкого минимума (рис. 2 а, в). На западном побережье Сахалина, за исключением полуострова Крильон, избыточная проводимость не обнаружена. Это позволяет считать, что гальваническая связь оса-

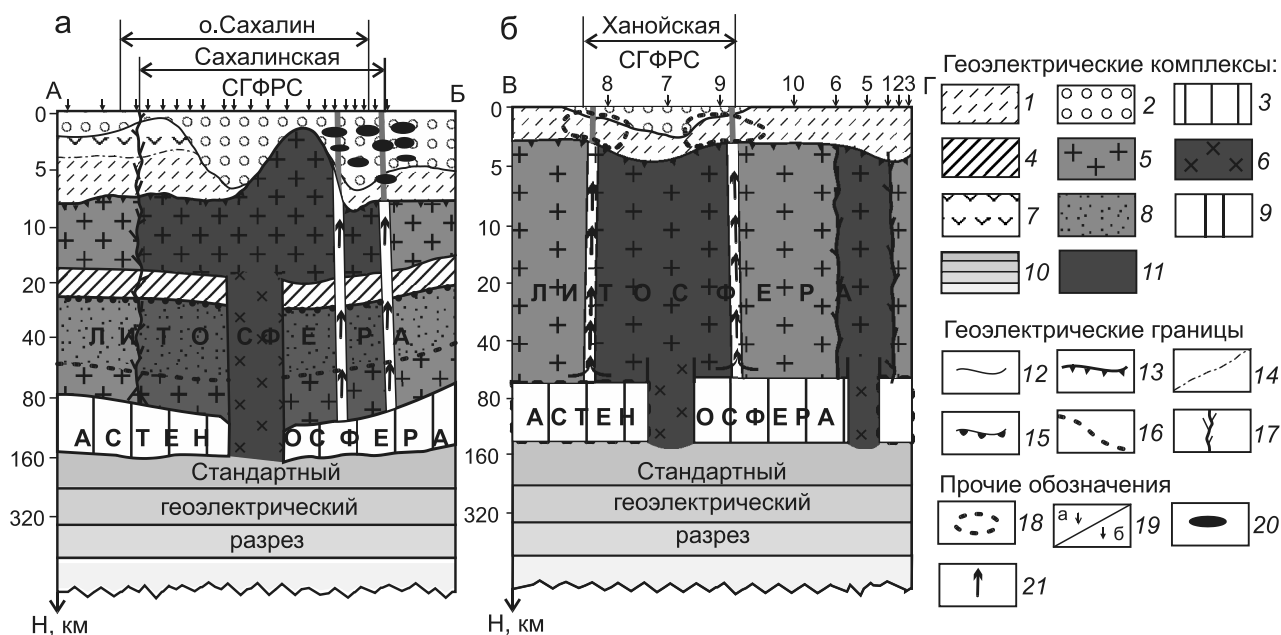


Рис. 4. Глубинные геоэлектрические разрезы в зоне перехода от Тихого океана к Азиатскому континенту: а – Северный Сахалин (Россия), б – северо-западная часть Тонкинского залива (Вьетнам).

1 – анизотропно-проводящие (трещиноватые) комплексы пород ρ_x – 5–10 Ом·м, $\rho_y > 100$ Ом·м, 2 – нормально-осадочные породы ρ 5–15 Ом·м, 3 – электропроводящие образования астеносферы 5–15 Ом·м, 4 – проводящие образования нижней части земной коры 10–20 Ом·м, 5 – относительно высокоомные образования земной коры и подкорковой литосферы 1000–2000 Ом·м, 6 – высокоомные образования в литосфере и астеносфере 1000–5000 Ом·м, 7 – высокоомные образования промежуточного вулканогенно-осадочного слоя в разрезе северо-западного Сахалина, 8 – подкорковый литосферный слой, 9 – литосферные флюидонасыщенные электропроводящие разломы 2–10 Ом·м, 10 – стандартный геоэлектрический разрез [4], 11 – область, соответствующая СГФРС, 12 – подошва изотропно-проводящих осадочных образований, 13 – подошва анизотропно-проводящих (трещинных) пород осадочной толщи и верхней части фундамента, 14 – подошва вулканогенных пород, 15 – граница Мохо, 16 – граница между подкорковым и надастеносферным слоями литосферы, 17 – предполагаемые каналы поступления магматических расплавов, 18 – благоприятные для накопления залежей углеводородов части в разрезе осадочной толщи и промежуточного фундамента в Тонкинском заливе [7], 19 – пункты МТЗ: а – во Вьетнаме, б – на Сахалине, 20 – месторождения нефти и газа в северо-восточной части Сахалина, 21 – направление потока флюидов мантийного происхождения (H_2 , CO , CO_2 , CH_4 , H_2O).

дочной толщи с астеносферой осуществляется посредством каналов очагового типа, например, цепочкой вулканических жерл. Такой вывод подкрепляется известным фактом высокой интенсивности вулканической деятельности на рубеже верхней мел/палеоген на западе Сахалина, приведшей к образованию мощной толщи вулканогенно-осадочного комплекса [19]. Важным элементом глубинного геоэлектрического разреза Сахалина является высокоомное вертикальное включение, нарушающее горизонтальную слоистость литосферы и астеносферы (2000–5000 Ом·м). Его верхняя кромка, очевидно, располагается в средней части земной коры, а корни уходят глубоко в астеносферу. Ось рассматриваемого включения простирается в меридиональном направлении, проходя по центру Сахалина. Это подтверждает представление о существовании Срединно-Сахалинского разлома глубокого заложения, эволюция которого

способствовала образованию самого острова [19]. Варьирование шириной высокоомного включения не приводит к заметным изменениям модельных кривых ρ^{\perp} . Следовательно, реальная ширина высокоомного включения на данном этапе изученности остается неопределенной.

Таким образом, численное моделирование магнитотеллурических данных на Сахалине позволило впервые убедительно показать, что в формировании магнитотеллурических аномалий важный вклад вносят крутопадающие низкоомные и высокоомные линейные тела, пронизывающие всю толщу литосферы и уходящие глубоко в астеносферу. Этот факт является прямым доказательством существования глубинных и сверхглубинных разломов – зон, по которым флюиды мантийного происхождения имеют возможность миграции в осадочную толщу и на дневную поверхность.

СВЕРХГЛУБИННАЯ ФЛОИДНО-РАЗЛОМНАЯ СИСТЕМА р. КРАСНОЙ (ВЬЕТНАМ)

В связи с активизацией нефтегазопоисковых работ в Северном Вьетнаме нами в период с 2012 по 2015 гг. проведены магнитотеллурические исследования в прибрежной части Тонкинского залива Южно-Китайского моря по профилю, пересекающему разломную зону р. Красной [16], представленную разломами Шонг-Хонг, Шонг-Чай, Шонг-Ло (рис. 3). Наблюдения проводились на островах Кото, Кайбау, Чабан, Нгоквын, Катба, а также на суше в районе дельты р. Красной (рис. 3 б) с регистрацией МТ-вариаций в диапазоне периодов $10 \text{ с} < T < 10000 \text{ с}$. Магнитометры и измерительные линии ориентировались в направлениях север-юг и запад-восток. Длины измерительных линий в зависимости от условий местности составляли 500–1000 м. Длительность сеансов наблюдений составляла от 3 до 20 суток.

Обработка данных МТ-наблюдений в координатах измерительных установок на основе классической связи между горизонтальными компонентами электрического поля (E_r) и магнитного поля (H_r), представляемой соотношением ($E_r = [Z] \cdot H_r$), выявила сложный, трехмерный характер тензора импеданса. Асимметричными четырехлепестковыми розами с соотношением $Z_{\max}/Z_{\min} > 5$ представлены не только полярные диаграммы дополнительных импедансов, но и полярные диаграммы основных импедансов. Отсутствует заметная доминанта в направлениях осей полярных диаграмм по профилю наблюдений МТЗ. На всех пунктах измерения МТ-поля, по крайней мере в одном из направлений, дополнительные импедансы в 3–5 раз превосходят основные. Эти свойства магнитотеллурического поля сказываются на особенностях кривых кажущегося сопротивления.

Кривые ρ_{xy} (ось x в направлении север-юг) в пределах профиля работ расходятся по своему среднему уровню на три порядка. Их форма отмечается разнообразием, а длиннопериодные ветви представлены от асимптотически нисходящих до асимптотически восходящих. Кажущееся сопротивление в перпендикулярном направлении обладает примерно такими же свойствами. Весь набор откликов среды указывает на ее трехмерность. В этой связи возникает вопрос о принципиальной возможности применения МТ-методов для изучения глубинного строения. Важно понять, существуют ли в глубинном разрезе геологические структуры, которые сопровождаются адекватным пространственным распределением удельного электрического сопротивления. Преследуя эту цель, предполагается, что среда представлена суперпозицией структур: региональной, протягивающейся на

большие расстояния, и локальной, представленной приповерхностными неоднородностями электрического сопротивления.

Согласно [3], при суперпозиции структур связь между горизонтальными компонентами поля имеет вид:

$$(E_r) = [e] \cdot [Z^R] \cdot H_r, \quad (1)$$

где $[e]$ – тензор неоднородности приповерхностного слоя, $[Z^R]$ – тензор импеданса, соответствующий региональной структуре.

Можно показать [16], что если региональная структура близка к двумерной и существуют направления, в которых дополнительные импедансы намного меньше основных ($Z_{\text{доп}}/Z_{\text{осн}} \rightarrow 0$), тензорное соотношение между электрическим полем в координатах наблюдения и магнитным полем в направлениях простирания и вкрест региональной структуры принимает простой вид:

$$E_x \approx e_{xy'} \cdot Z_{x'y'}^R \cdot H_{y'} + e_{xx'} \cdot Z_{y'x'}^R \cdot H_{x'}, \quad (2)$$

$$E_y \approx e_{yy'} \cdot Z_{x'y'}^R \cdot H_{y'} + e_{yx'} \cdot Z_{y'x'}^R \cdot H_{x'}, \quad (3)$$

где x, y – координатные оси наблюдения, $x'y'$ – координатные оси, соответствующие падению и простиранию региональной структуры, $e_{xy'}, e_{xx'}, e_{yy'}, e_{yx'}$ – компоненты тензора приповерхностных неоднородностей, $Z_{x'y'}^R, Z_{y'x'}^R$ – главные импедансы региональной структуры.

При условии локализации приповерхностных неоднородностей электрического сопротивления как по глубине, так и по горизонтали, компоненты тензора $[e]$ можно описать вещественными значениями. С учетом (2) и (3) получаем значение основных импедансов $Z_{x'y'}^R$ и $Z_{y'x'}^R$, умноженные на неизвестные коэффициенты. Это равносильно усилению статического сдвига, который практически всегда присутствует в данных, полученных на неоднородной поверхности.

На данном свойстве основан азимутальный анализ кажущегося сопротивления. Его реализация состоит в следующем. Циклически производится расчет кажущегося сопротивления по вариациям электрического поля, зарегистрированного на измерительных диполях, и вариациям магнитного поля, последовательно пересчитываемого в новые азимуты с шагом 10° . В семействах получаемых таким образом кривых, относящихся к диполям E_x и E_y , имеют место попарно конформные кривые кажущегося сопротивления. Одна пара наблюдается в направлении простирания региональной структуры, другая – вкрест простирания.

Пример расчета семейства азимутальных кривых показан на рисунке 5. (Во избежание загромождения рисунка 5 на него вынесены расчетные кривые только для направлений, указанных на соответствующих

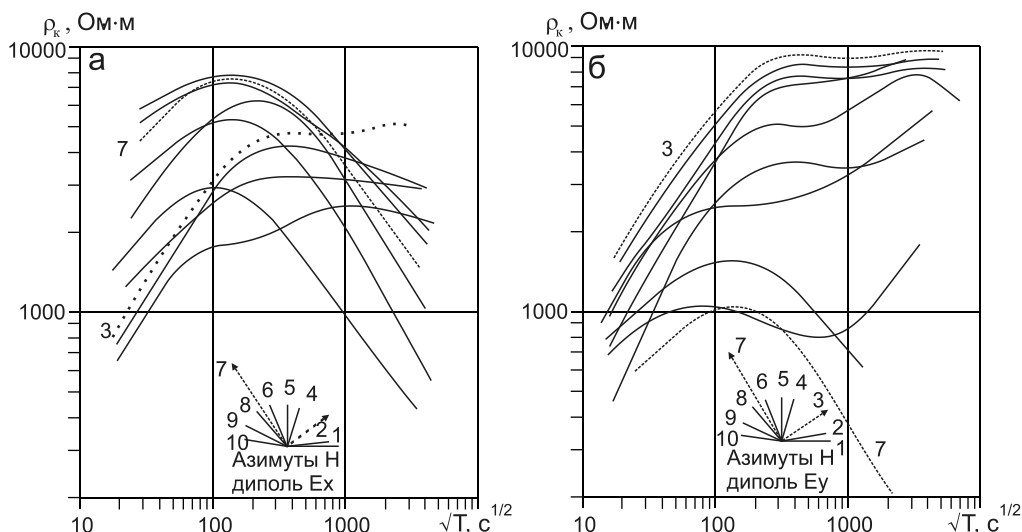


Рис. 5. Пример семейств азимутальных кривых кажущегося сопротивления, рассчитанных в пункте МТЗ 1.

а – семейство азимутальных кривых кажущегося сопротивления, полученных с помощью электрического диполя E_x в направлении север-юг, б – семейство азимутальных кривых кажущегося сопротивления, полученных с помощью электрического диполя E_y в направлении запад-восток. Цифрами 1–10 показаны направления, в которых рассчитывались компоненты магнитного поля $H_x(\alpha)$. В направлениях 7 (северо-запад 330°) и в направлении 3 (северо-восток 30°) в обоих семействах наблюдаются конформные кривые ρ_k .

азимутальных диаграммах). Семейство на рис. 5 а получено с использованием электрического поля, записанного с помощью диполя E_x , семейство кривых на рис. 5 б – получено с помощью диполя E_y . Только лишь в направлениях 30° и 330° кривые в обоих семействах конформны. Если в семействах не находятся конформные кривые, это означает, что среда не соответствует предполагаемой модели и МТ-данные нельзя интерпретировать в рамках двумерной модели. Во всех пунктах наблюдения рассматриваемого профиля выявлено направление, в котором проявляется двумерность региональной структуры.

Как показал анализ, во всех пунктах МТЗ устойчиво выделяются две поляризации: северо-северо-западная (325° – 335°) и восточно-северо-восточная (55° – 65°). Исходя из того, что основной структурой региона является разломная зона р. Красной, можно считать, что именно с нею связаны рассмотренные поляризации кажущегося сопротивления. Учитывая особенности длиннопериодной асимптотики, кривые кажущегося сопротивления в направлении 325° – 335° определяются нами как продольные, а в направлении 55° – 65° – как поперечные.

Как видно из рисунка 5, продольные и поперечные кривые, получаемые на основе азимутального анализа, сдвинуты по оси ординат, поэтому существует задача восстановления их «истинного» уровня. Наиболее популярным способом восстановления «истинного» уровня кривых кажущегося сопротивления в настоящее

время является редукция к уровню электрического сопротивления верхнего слоя, определяемого, например, методом зарезки буровых стволов (ЗСБ) [3]. Однако на данном этапе исследований кривые МТЗ не имеют высокочастотных ветвей и, кроме того, в районе не проводились исследования методом ЗСБ. Поэтому задача решалась путем редуцирования длиннопериодных ветвей продольных кривых [3]. Длительная серия наблюдений МТ-вариаций на пункте 5 позволила получить продольную кривую кажущегося сопротивления в расширенном диапазоне периодов. Ее сопоставление со стандартным разрезом и опорными продольными кривыми для различных районов зоны перехода от Тихого океана к Азиатскому материка позволило оценить её вероятное положение по оси ординат (рис. 6).

К этой кривой были редуцированы остальные, более урезанные по диапазону периодов кривые на профиле исследования (рис. 7 а). Восстановление «истинного» уровня поперечных кривых МТЗ, строго говоря, является нерешаемой задачей. Если бы они были подвергнуты только статическому смещению, то, основываясь на свойствах ρ^{\perp} модельных кривых, можно было бы их редуцировать к нисходящей ветви продольной кривой в пункте 5, как это показано на рисунке 7 б. Как видно, большинство кривых, за исключением в пунктах 7 и 8, имеют нисходящую ветвь, связанную с кровлей астеносферы ($T > 300$ с). А согласно моделированию (рис. 1), если на поперечной кривой выражен даже перегиб, то его положение по оси орди-

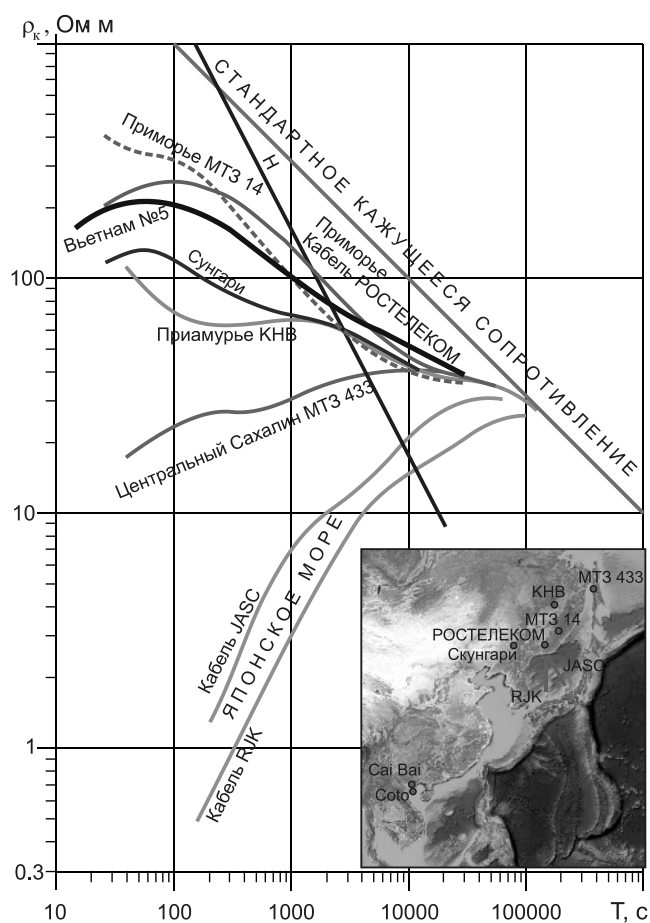
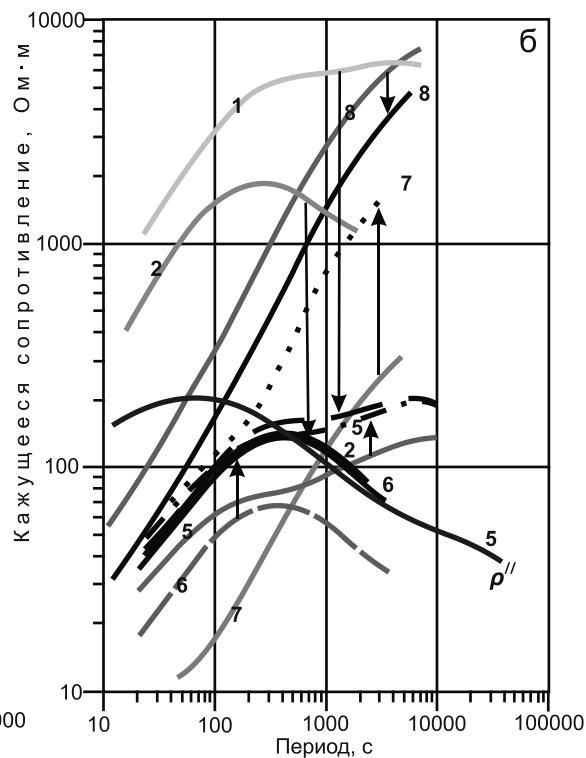
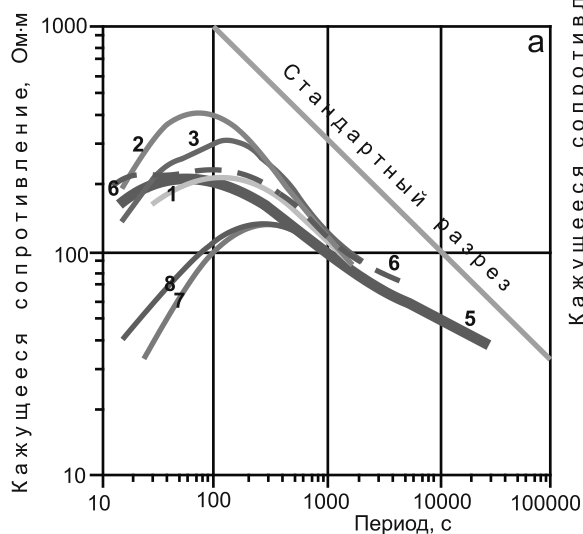


Рис. 6. Распределение продольного кажущегося сопротивления на опорных пунктах наблюдения в зоне сочленения Азиатского континента с окраинными морями [14, 15, 21].

Рис. 7. Устранение статических сдвигов кривых МТЗ в северо-западной части Тонкинского залива.

а – продольные кривые (325° – 335°), б – поперечные кривые (55° – 65°).



нат отличается от «истинного» не более, чем на 30 %. Но это свойство выполнимо при условии постоянства параметров верхнего проводящего слоя. Если же параметры верхнего слоя осадочной толщи меняются по профилю, то смещение поперечной кривой будет усилено также и S-эффектом [3]. Вместе с тем, приведенное на рисунке 7 б семейство редуцированных поперечных кривых даёт качественное представление об искажениях глубинной природы и четко устанавливает границы зон с различными типами кривых.

Исходя из того, что основной структурой региона является разломная зона реки Красной, можно считать, что именно она формирует рассмотренные поляризации кажущегося сопротивления. Численное моделирование данных МТЗ по профилю ВГ позволило выявить основные черты глубинного геоэлектрического разреза (рис. 4 б). Осадочная толща характеризуется удельным сопротивлением 5–20 Ом·м и достигает максимальной мощности в устье реки Красной (2.5 км). Основные объемы нормально-осадочных отложений развиты к юго-востоку от профиля исследования. Нормально-осадочные отложения перекрывают трещинный комплекс пород, характеризующийся анизотропной проводимостью. Минимальное сопротивление составляет 5–10 Ом·м, в ортогональном направлении сопротивление увеличивается в 10–20 раз. Мощность трещинного комплекса достигает 5 км. Он представлен песчаниками, известняками и метаморфическими образованиями разновозрастных пород

(от силурийских до поздне меловых). Трециноватый комплекс, который, по-видимому, широко развит в акватории Южно-Китайского моря, исследователи выделяют в качестве «переходного фундамента» [6].

В отличие от Сахалина, литосфера Северного Вьетнама не содержит геоэлектрической границы между земной корой и подкорковыми образованиями. Наиболее ярко в кажущемся сопротивлении выражается астеносферный проводящий слой, который залегает на стандартном геоэлектрическом разрезе. Кровля проводящей (5–10 Ом·м) астеносферы располагается на глубине около 75 км, что несколько меньше, чем под Сахалином. Согласование теоретических поперечных кривых МТЗ с экспериментальными делает необходимым введение в модель субвертикальных низкоомных и высокоомных пластов в литосферу и астеносферу. Исходя из изменения характера кривых кажущегося сопротивления вдоль профиля ВГ, можно утверждать, что электропроводящие тела занимают положение, близкое к разломам Шонг-Хонг и Шонг-Ло (рис. 5 б). Данные проводящие тела отождествляются с плоскостями разломов, поскольку на продольных кривых кажущегося сопротивления четко выражен минимум в диапазоне периодов 150–300 с. Протяженная ветвь на поперечных кривых в пунктах 7 и 8 обеспечивается введением в разрез высокоомного вертикального пласта на участке между разломами Шонг-Хонг и Шонг-Ло. Таким образом, геоэлектрическая модель тектоносферы на севере Тонкинском залива оказалась аналогичной модели Сахалина. Она выделена нами как Ханойская сверхглубинная флюидно-разломная система.

В восточной части профиля исследования в пункте МТЗ № 1 и № 5 (рис. 3 б) также зафиксировано аномальное поведение поперечного кажущегося сопротивления. С востока и запада от аномальной зоны в пунктах МТЗ № 4, № 3 и № 6 поперечные кривые имеют нормальный вид. Таким образом, аномалия оказалась ограничена с востока и запада. Вместе с тем, на всех перечисленных пунктах продольные кривые не отмечают наличие в разрезе избыточной продольной проводимости. Такое соотношение продольных и поперечных кривых указывает на то, что аномалии поперечного тока связаны с перетеканием астеносферного тока в приповерхностный слой по каналам центрального типа.

ПРИРОДА СВЕРХГЛУБИННЫХ ФЛЮИДНО-РАЗЛОМНЫХ СИСТЕМ И ИХ СВЯЗЬ С НЕФТЕГАЗОНОСТЬЮ

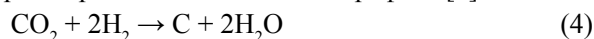
Настоящими глубинными электромагнитными исследованиями в зоне сочленения Азиатского континента с окраинными морями Тихого океана выявлена

слоисто-блоковая геоэлектрическая структура тектоносферы. Слоистая структура представляет собой нормальный геоэлектрический разрез зоны перехода, перекрытый анизотропными и нормально-осадочными образованиями. Присутствие хорошо проводящей астеносферы в интервале глубин 80–160 км является главным отличием от стандартного (планетарного) разреза. Крупнейшими вертикальными элементами геоэлектрического разреза являются сверхглубинные флюидно-разломные системы, представленные сочетанием высокоомных (свыше 1000 Ом·м) и низкоомных (около 5–20 Ом·м) субвертикальных пластов. Высокоомные пласты протягиваются через астеносферу в нижнюю часть литосферы, а на Сахалине достигают низов земной коры. Высокоомные образования обрамляются низкоомными крутопадающими пластами в литосфере.

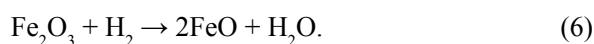
Пример Сахалина и Тонкинском залива показывает, что СГФРС развиты в различных геодинамических обстановках. Сахалинская СГФРС развита в зоне сжатия, Ханойская – в зоне растяжения. Следовательно, особенности тектоники не являются основными определяющими причинами возникновения этих специфических электропроводящих структур. Их природа, видимо, связана с особенностью глубинного флюидного режима. Как показано в работах [4, 5, 15], электропроводность земной коры и верхней мантии определяется температурным режимом, давлением и эволюцией флюидов. По мнению [4], низкие сопротивления астеносферного слоя объясняются частичным плавлением верхнемантийного вещества в условиях повышенного прогрева. Но тепловой поток в пределах Сахалина и северной части Ханойской впадины, составляющий 40–50 мВт/м², не позволяет предположить в этих районах наличие высокого прогрева в мантии, как например в Японском и Охотском морях [17, 18]. Логично предположить, что частичное плавление происходит при температурах ниже 1200 °С в присутствии флюидов [8]. Обнаруженная нами сравнительно узкая высокоомная зона в астеносферном слое является ранее не исследованным объектом. Ниже приводится гипотеза, объясняющая его природу.

На Сахалине для обоснования высокоомной зоны в астеносфере можно было бы использовать механизм погружения с востока под остров холодной океанической литосферы в процессе ее субдукции [7]. Для Ханойской впадины аналогичные объяснения неприемлемы, поскольку она является рифтогенной зоной. С точки зрения эволюции флюидного режима объяснение высокоомной неоднородности в астеносфере становится более универсальным. Как известно [8], в пределах верхней мантии приток водо-

рода из глубинных зон сопровождается синтезом воды за счет кислорода буферной ассоциации. Это вызывает понижение температуры плавления перидотита и образования зоны частичного плавления. Если кислородный буфер исчерпывается, дальнейшее поступление водорода приводит к выделению графита [8]:



В результате реакций образуются графит и вода. Проходя через литосферу по зонам высокой проницаемости, флюид, содержащий графит, оставляет за собой след в виде зон повышенной проводимости, которые и фиксируются электромагнитными исследованиями. Синтез воды также может происходить и в результате восстановления окисного железа [17]:

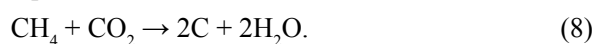


Но в результате этой реакции не образуется дополнительных носителей электрического тока. При дальнейшем подтоке водорода и понижении летучести кислорода реакции с выделением графита сменяются его расходом с образованием метана [8]:



Начиная с этого момента, вследствие увеличения во флюиде доли метана температура начала плавления увеличивается. Таким образом, частично расплавленный слой астеносферы в зоне поступления водорода переходит в твердое состояние и обогащается метаном. Вышезалегающая литосфера по-прежнему остается насыщенная водно-графитовой смесью.

В соответствии с описанным процессом, высокоомная неоднородность в астеносфере представляет собой область, насыщенную метаном. Как показывают термодинамические расчеты [15], метан может стабильно существовать во всей литосфере, а следовательно, мигрировать по проницаемым каналам, трассируемым в электрическом поле графитом. Расход метана вероятен в верхней части фундамента и в осадочной толще, где термодинамика позволяет протекать реакции [8]:



Этот процесс приводит к концентрации водно-графитовой смеси в разломных зонах неглубокого заложения (3–15 км), часто фиксируемых магнитотеллурическими зондированиями.

Низкоомные каналы, обеспечивающие гальваническую связь проводящей астеносферы с осадочной толщей, одновременно являются каналами притока метана мантийного происхождения. Следовательно, структуры трещиноватого анизотропно-проводящего комплекса, прилегающие к этим каналам, наиболее благоприятны для образования скоплений углеводо-

родов. Это подтверждается скоплением месторождений нефти и газа вблизи выделенных методом МТЗ сверхглубинных разломов на северо-восточном Сахалине. Учитывая этот факт, можно предположить, что сверхглубинные разломы, ограничивающие Ханойскую СГФРС, являются признаком, благоприятным для локализации скоплений углеводородов в трещинном комплексе промежуточного фундамента, перекрытого песчано-глинистыми отложениями кайнозойского возраста (рис. 4 б).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Магнитотеллурическими исследованиями в нефтегазоносных районах зоны перехода от Тихого океана к Азиатскому континенту обнаружены специфические вертикальные (крутопадающие) структуры, пронизывающие всю литосферу и уходящие глубоко под нее. Исходя из анализа данных по Сахалину, наиболее изученному методом МТЗ району зоны перехода, протяженность электрической структуры достигает тысячи км, а ширина составляет 80–120 км.

В Тонкинском заливе аналогичная геоэлектрическая структура пересечена только одним профилем. Судя по тому, что основным тектоническим элементом региона является разломная зона реки Красной, можно предположить, что геоэлектрическая структура также протягивается на тысячу км. Соответствие вертикальных геоэлектрических структур крупнейшим разломным системам зоны перехода и насыщение всего столба верхнемантийных пород носителями электрического тока, в качестве которых можно рассматривать минерализованные растворы, графит и водно-графитовую смесь, позволяет определить рассматриваемую структуру как сверхглубинную флюидно-разломную систему. Как показал опыт исследований МТЗ на Сахалине и в Тонкинском заливе, с элементами СГФРС связана нефтегазоносность, вулканизм и сейсмичность. Это обстоятельство определяет интерес к выявлению и изучению новых СГФРС, но вместе с тем важно и изучение более общих вопросов: насколько широко СГФРС распространены в тектоносфере, являются ли они структурами только зоны перехода или имеют место в океанах и континентах и какова их роль в эволюции Земли.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ 15-05-05596 А, 16-55-540007 Вьет а, госзадания программы ФНИ РАН-70, тема 3, № 011201363044 и темы VAST06.01 / 15-16.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И., Куликов В.А. О нормализации магнитотеллурического поля флюидонасыщенными разломами // Физика Земли. 1991. № 3. С. 45–51.

2. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И., Куликов В.А. Чувствительность глубинного магнитотеллурического зондирования к наличию флюидонасыщенных разломов // Физика Земли. 1994. № 6. С. 39–49.
3. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Модели и методы магнитотеллурики. М.: Науч. мир, 2009. 680 с.
4. Ваньян Л.Л., Шиловский П.П. Глубинная электропроводность океанов и континентов. М: Наука, 1983. 88 с.
5. Ваньян Л.Л. Электромагнитные исследования. М: Науч. мир, 1997. 219 с.
6. Вовк В.С., Гулев В.Л., Дзюбло А.Д., Соколов В.И., Тронов Ю.А., Шнип О.А. // Геология нефти и газа. 2008. № 2. <http://www.vipstd.ru/gim/content/view/626/77/>
7. Гранник В.М. Восточно-Сахалинская островодужная система Охотоморского региона // Литосфера. 2013. № 1. С. 36–51.
8. Кадик А.А., Луканин О.А. Дегазация верхней мантии при плавлении. М.: Наука, 1986. 85 с.
9. Каплун В.Б. Геоэлектрические разрезы северо-западного борта Среднеамурского осадочного бассейна (ДВ) по данным МТЗ // Тихоокеан. геология. 2014. Т. 33, № 6. С. 50–63.
10. Никифоров В.М., Альперович И.М., Ваньян Л.Л. Особенности кривых магнитотеллурического зондирования на Сахалине и методика их интерпретации // Тихоокеан. геология. 1983. № 5. С. 59–65.
11. Никифоров В.М., Альперович И.М., Гаврилов А.И., Кононов В.Э., Харахинов В.В., Слуднев Ю.Г. Аномалии электропроводности земной коры на Северном Сахалине и связь с ними месторождений нефти и газа // Докл. АН СССР. 1985. Т. 285, № 3. С. 678–681.
12. Никифоров В.М., Альперович И.М., Гаврилов А.И., Кононов В.Э., Харахинов В.В., Слуднев Ю.Г. Строение осадочной толщи Северного Сахалина (по данным МТЗ) // Тихоокеан. геология. 1987. № 3. С. 52–59.
13. Никифоров В.М., Пальшин Н.А., Старжинский С.С. Трехмерный береговой эффект в Приморье // Физика Земли. 2004. № 8. С. 56–69.
14. Никифоров В.М., Дмитриев И.В. Геоэлектрический разрез тектоносферы в зоне сочленения Япономорской впадины с материковым обрамлением // Тихоокеан. геология. 2007. Т. 26, № 6. С. 3–14.
15. Никифоров В.М., Кулинич Р.Г., Валитов М.Г., Дмитриев И.В., Старжинский С.С., Шкабарня Г.Н. Особенности флюидного режима литосферы в зоне сочленения южного Приморья и Японского моря по комплексу геофизических данных // Тихоокеан. геология. 2013. Т. 32, № 1. С. 54–64.
16. Никифоров В.М., Долгих Г.И., Кулинич Р.Г., Шкабарня Г.Н., Дмитриев И.В., Фунг Ван Фэк, Вуонг Хунг Ван. Новые данные о глубинном строении северной части залива Бакбо Южно-Китайского моря (по результатам магнитотеллурических зондирований) // Докл. АН. 2014. Т. 458, № 6. С. 696–700.
17. Туезов И.К. Геотермическая структура литосферы и астеносферы Азиатско-Тихоокеанской зоны сочленения и прилегающих частей Азии и Тихого океана. Владивосток: ДВО АН СССР, 1990. 107 с.
18. Туезов И.К., Епанешников В.Д., Хаякава М. Геотермия. М.: Недра, 1995. 301 с.
19. Харахинов В.В. Нефтегазовая геология Сахалинского региона. М.: Науч. мир, 2010. 276 с.
20. Kerry W.K., Steven C.C., Chester Y. W. Mapping 3D salt using the 2D marine magnetotelluric method: Case study from Gemini Prospect, Gulf of Mexico // Geophysics. 2006. V. 71, N 1. P. B17–B27.
21. Masahiro Y., Macoto U., Hisashi U. Upper mantle conductivity structure of the back-arc region beneath northeastern China // Geophys. Res. Lett. 2001. V. 28, N 19. P. 3773–3776.
22. Steven C.C., Arnold S.O., Hoversten G.M., Morrison H.F. Marine magnetotellurics for petroleum exploration Part 1: A sea-floor equipment system // Geophysics. 2006. V. 63, N 3. P. 816–825.

Рекомендована к печати Р.Г. Кулиничем

*V.M. Nikiforov, G.N. Shkabarnya, A.Yu. Zhukovin, V.B. Kaplun, N.A. Palshin, I.M. Varentsov,
Do Huy Cuong, Phung Van Phach, Hoang Van Vuong, S.S. Starzhinsky*

Vertical disturbance systems of the tectonosphere geoelectrical section in the oil-and-gas areas of the Sakhalin (Russia) and the Gulf of Tonkin (Vietnam) from the MTS data

The paper discusses the transverse current anomalies observed at the magnetotelluric sounding (MTS) in the transition zone from the Asian continent to the Pacific Ocean, and geoelectrical model, within which it is possible to explain these effects. Based on the modeling results and new MTS data, on Sakhalin and North Vietnam the super-deep fluid-fault systems (UDFFS) models have been constructed. Their integral structural elements are the steeply dipping low-resistivity and high-resistivity line bodies, which permeate the whole thickness of the lithosphere and penetrate deep into the asthenosphere. The structure of these systems substantiates deep and ultradeep faults - zones along which mantle-originated fluids can migrate in the sediment and to on the surface. This allows the anisotropic-conductive fractured structures adjacent to these faults us to be considered as the most favorable for hydrocarbon accumulations.

Key words: magnetotelluric sounding, tectonosphere, transverse current anomalies, deep geoelectrical model, ultradeep faults, azimuth analysis, deep fluids, oil and gas basins, Sakhalin, North Vietnam.