

КАРТИРОВАНИЕ НОВЕЙШИХ РАЗЛОМОВ МЕТОДОМ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ГОРНОГО АЛТАЯ)

Елена Валентиновна Поспеева

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, тел. (953)869-78-88, e-mail: PospееvaEV@ipgg.sbras.ru

Построенные по магнитотеллурическим данным геоэлектрические разрезы позволяют проследить поведение на глубине основных неотектонических нарушений, которые отчетливо маркируются неоднородностями с аномально низкими значениями удельного сопротивления (менее 0.5 Ом·м). В целом магнитотеллурические данные подтверждают кинематические характеристики разломов, ранее определенные по морфотектоническим и геологическим данным. Для сбросов и сдвигов установлены вертикальные падения плоскостей сместителей, а для взбросов – наклонные. На глубине 10–15 км субвертикальные и наклонные зоны новейших разрывных нарушений пересекают субгоризонтальную зону повышенной проводимости. Наличие субгоризонтального проводящего слоя обеспечивает высокий потенциал тектонической и сейсмической активности верхней, наиболее хрупкой части литосферы на территории Горного Алтая.

Ключевые слова: Горный Алтай, магнитотеллурические зондирования, геоэлектрический разрез, электрическое сопротивление, новейший разлом, земная кора, проводящий слой.

MAPPING NEW FAULTS BY MAGNETOTELLURIC SOUNDING (FOR EXAMPAL, THE EASTEN PARTH OF THE GORNY ALTAI)

Elena V. Pospееva

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Koptuyug Prospect, D. Sc., Leading Researcher, tel. (953)869-78-88, e-mail: PospееvaEV@ipgg.sbras.ru

Built on magnetotelluric data geoelectric sections allow us to trace the behavior at a depth of major neotectonic violations are clearly marked irregularities with abnormally low values of resistivity (less than 0.5 ohm-meters). Overall magnetotelluric data confirm the kinematic characteristics of the faults previously identified by morphotectonic and geological data. For discharges and vertical offsets Factory settings fall mixers planes, and for reverse faults - inclined. At a depth of 10-15 km and inclined subvertical zones of the latest faults crossing sub-horizontal zone of increased conductivity. The presence of subhorizontal conductive layer provides a high potential tectonic and seismic activity of the upper, the most fragile part of the lithosphere in the territory of Mountain Altai.

Key words: Gorny Altai, magnetotelluric sounding, geoelectric section, electrical resistivity, new fault, earth crust, conductor layer.

Тектонические структуры, формирующиеся в позднем кайнозое, традиционно изучаются морфотектоническими и геоморфологическими методами, поскольку новейшие движения создают основу для формирования современного

рельефа, обуславливая конфигурацию и позицию наиболее крупных его форм [6, 7]. Однако эти методы способны выявить лишь плановую (двухмерную) сеть новейших разрывных нарушений и основные характеристики пликативных деформаций. В силу своей специфики проследить поведение новейших структур на глубине они не позволяют. В связи с этим выводы о кинематике и глубинной позиции новейших структур (т. е. их трехмерные модели), сделанные с помощью морфотектонического анализа, часто носят предположительный характер, поскольку вынуждены опираться на разрозненные геологические наблюдения. Более полная информация о морфологии новейших структур может быть получена главным образом геофизическими методами, среди которых одно из ведущих мест занимает метод магнитотеллурического зондирования (МТЗ).

Основными функциями отклика в МТЗ являются тензор импеданса:

$$|Z| = \begin{vmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{vmatrix} \text{ и кажущееся сопротивление } \rho_{xy} = |Z_{xy}|^2 / \omega\mu_0, \rho_{yx} = |Z_{yx}|^2 / \omega\mu_0.$$

При вращении тензора импеданса получается множество амплитудных и фазовых кривых, конфигурация которых зависит от их ориентации. Поэтому одной из основных методических задач является определение главных значений и главных направлений тензора импеданса. При решении этой задачи используется вся информация, которую несут компоненты тензора импеданса на главных направлениях, зависящих от строения геоэлектрической среды. На этом этапе важную роль играет анализ магнитотеллурических параметров – N_m , $Skew_s$ и $Skew_b$, где N_m – параметр неоднородности [2]; $skew_s$ – параметр асимметрии Свифта [10]; $skew_b$ – параметр асимметрии Бара [9], а также круговых полярных диаграмм тензора импеданса. Параметр неоднородности N_m является исходной точкой в анализе теста Бердичевского [2], оценивая который оконтуриваются горизонтально-однородные ($N_m \leq \delta$) и горизонтально-неоднородные области ($N_m \gg \delta$). Последние являются предметом дальнейшего анализа, согласно которому исследуемый район в целом можно рассматривать как региональную двумерную структуру северо-западного простирания: $N_m \gg \delta \rightarrow skew_s \geq \delta \rightarrow skew_b \leq \delta$. Двумерный тензор, определенный на его главных направлениях, имеет нулевую главную диагональ $Z_{xx} = Z_{yy} = 0$, поскольку в этих направлениях равны нулю соответствующие компоненты магнитного поля [2]. Если простирание двумерной модели совпадает с осью Y , тогда: $Z_{xy} = -Z^\perp$, $Z_{yx} = Z^\parallel$. Главные значения тензора импеданса совпадают с продольным и поперечным импедансами, а главными направлениями являются продольное и поперечное направления, по которым вычисляются кривые главных кажущихся сопротивлений.

В случае несовпадения простирания геоэлектрических неоднородностей с простиранием региональной структуры на некотором «критическом» периоде происходит вращение полярных диаграмм на 90° , а на графиках $M = f(\sqrt{T})$ и $\theta = f(\sqrt{T})$ наблюдается «скачок» значений: θ изменяется на 90° , а M становится намного меньше 1. Здесь M – отношение модулей продольного и поперечного импеданса, θ – угол между положительным направлением оси X и максимальным импедансом. В этом случае, для того чтобы кривые ρ_k соответствовали

продольному и поперечному направлению всех изучаемых структур, производится процедура замены ветвей кривых (Z_{xy} на Z_{yx} , φ_{xy} на φ_{yx}), начиная с этого «критического» периода. Еще одной важной задачей при проведении МТ-исследований является выявление на кривых зондирования искажений, связанных с горизонтальной неоднородностью разреза. Исследуемый регион в геологическом отношении принадлежит обширному ареалу развития палеозойских интрузивных и метаморфических комплексов, удельное электрическое сопротивление (УЭС) которых может достигать значений свыше 10000 Ом·м. Эти структуры формируют в МТ-поле эффекты гальванической природы, связанные с обтеканием электрическим током высокоомных объектов и его концентрацией в проводящих объектах. Наиболее распространенными типами гальванических искажений являются « ρ -эффект» и « S -эффект». Они проявляются в статическом смещении поперечной составляющей МТ-поля по оси сопротивлений вверх [2]. В случае « ρ -эффекта» наблюдается постоянный «статический» сдвиг поперечных кривых. В случае « S -эффекта» сдвиг только их низкочастотных ветвей. Теоретические расчеты [2] и практические наблюдения показывают, что при наличии в разрезе осадочного чехла неоднородностей, формирующих подобные эффекты, близкими к локально-нормальной кривой остаются продольные кривые. Для анализа возможностей и реализации такого подхода было проведено трехмерное математическое моделирование по профилю р. Ильдугем – р. Верх. Тар-Таган. Здесь полностью отсутствуют кайнозойские осадки, а породы верхнего структурного этажа представлены алевролитами и песчаниками горноалтайской свиты, а также метаморфическими сланцами теректинской свиты. Эти образования характеризуются высокими значениями УЭС, которое изменяется от 2000–2500 Ом·м в юго-западной части профиля до 7000–10000 Ом·м в северо-восточной. Оптимизация среды выполнялась методом Нелдера-Мида. Итоговая геоэлектрическая модель представлена трехмерным объемным распределением УЭС (рис. 1).

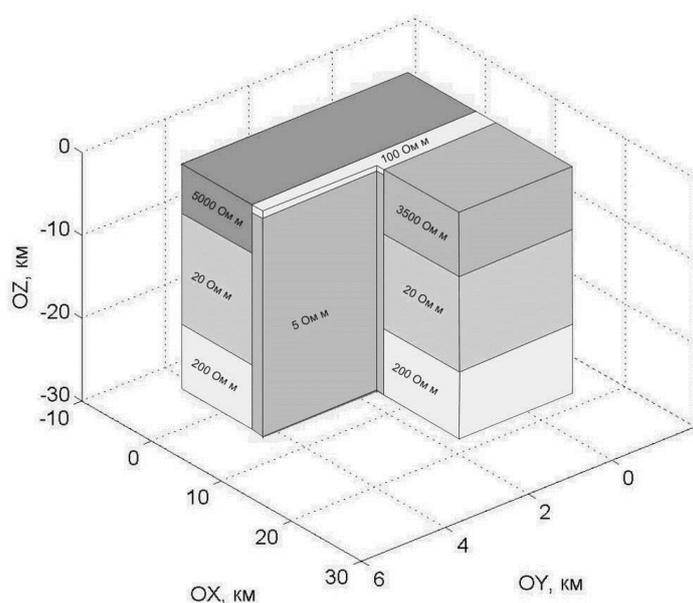


Рис. 1. 3D-модель проводящего разлома

Соответствие наблюдаемых и модельных кривых показано на рис. 2. Можно отметить, что экспериментальные кривые более плавные, чем теоретические, что связано с особенностями используемого метода Треффца. В этом методе применяются лишь приближенные модели среды, в то же время корректно учитывающие индукционные и гальванические искажения МТ-поля.

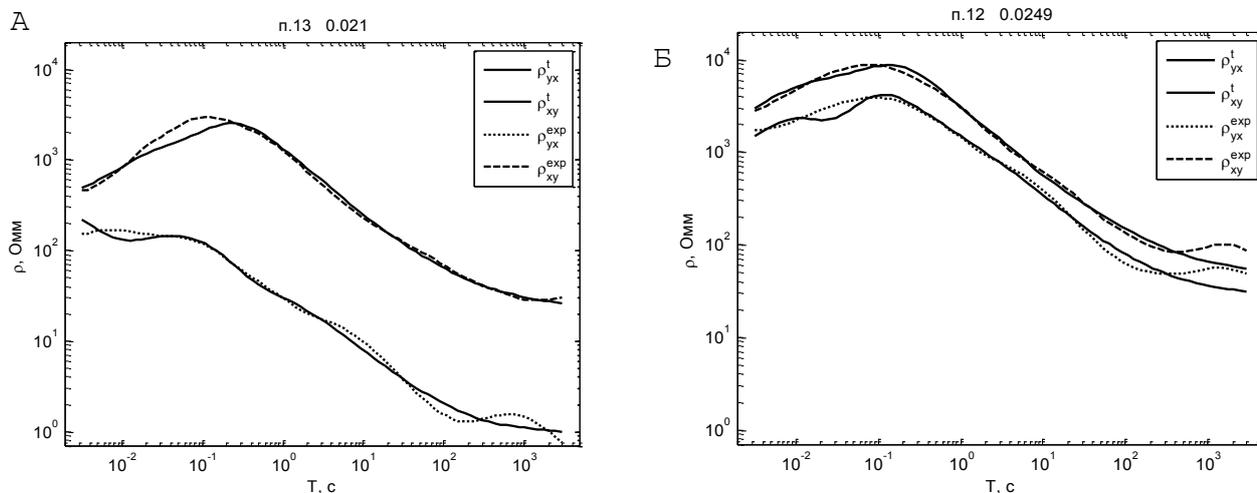


Рис. 2. Модельные и наблюдаемые кривые МТЗ:
А) над зоной разлома; Б) вне зоны разлома

Наличие глубоко проникающих разломов является одной из характерных черт литосферы, которые в период своего активного существования служат флюидопроводниками. По существу, они представляют собой «сквозные» каналы, проникающие в нижнюю кору и верхнюю мантию, и выводят на гипабиссальные глубины глубинные флюиды [3]. Сильнейшие землетрясения практически всегда приурочены к таким разломам. Это подтверждается экспериментальными данными, свидетельствующими, что внезапный подъем флюидов в разломных зонах инициирует землетрясение [1].

В пределах Горного Алтая новейшие разломы используют палеозойские зоны разломов лишь на отдельных участках и обычно секут их под разными углами [6, 7]. Узлы пересечения активизированных разломов отражаются в магнитотеллурическом поле субвертикальными проводящими зонами с явно выраженным наклоном одной из боковых границ, хорошо видимым на глубинном субмеридиональном МТЗ профиле через западную часть Курайской впадины, что можно интерпретировать как сочетание взбросовых и сдвиговых перемещений по отдельным зонам новейших разломов. Вертикальное падение новейшего разлома, выраженного в современном рельефе средней частью долины Башкауса, подтверждает сдвиговый характер по новейшему разлому, предполагавшийся по морфотектоническим данным. Выявление и изучение зон активных разломов помогает решить проблемы современной геодинамики, является важнейшим элементом проведения сейсмического районирования и оценки

сейсмической опасности. Разломам как доминирующим разноранговым геологическим структурам отводится максимальная роль в структурном контроле флюидной проницаемости, а также современных явлений в верхней части литосферы Земли. В сейсмологии давно установлена связь землетрясений с разрывными нарушениями: развитие разломных зон сопровождается сейсмичностью и сопряжено с деформациями коры и литосферы, которые отражаются в неотектонических движениях [8] и выделяются в рельефе земной поверхности. При этом сейсмически активными являются разломы с длительной геологической историей развития, скрытые разломы фундамента, линеаменты и узлы их пересечения [4, 5]. В верхней части консолидированной земной коры проводящие геоэлектрические неоднородности, маркирующие зоны новейших разломов пересекают коровый проводящий слой, глубина которого изменяется от 8–10 км в пределах Чуйской и Курайской впадин до 18–20 км в пределах горного обрамления.

Заключение

Региональные глубинные разломы, разделяющие различные по масштабам блоки земной коры, на геоэлектрическом разрезе отчетливо проявлены субвертикальными зонами с минимально низкими значениями удельного сопротивления. Наклон их боковых границ совпадает с положением плоскостей разломов, определенным по геолого-структурным и морфотектоническим данным.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аптикаев С.Ф. Структура микромасштабного сейсмического поля: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. – М., 1995. – 22 с.
2. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Модели и методы магнитотеллурики. – М.: Научный мир, 2009. – 677 с.
3. Кадик А.А. Флюиды как отражение окислительно-восстановительного режима в мантии: следствия для геофизических свойств глубинного вещества // Флюиды и геодинамика. – М.: Наука, 2006. – 280 с.
4. Калинина Л.Ю. Роль разломов и глубинной структуры в пространственном контроле землетрясений на Северо-Востоке России: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. – Магадан, 2005. – 34 с.
5. Калягин А.Н., Абрамов В.А. Основы трансструктурной геологии. – Владивосток: Дальнаука, 2003. – 348 с.
6. Новиков И.С. Кайнозойская сдвиговая структура Алтая // Геология и геофизика. – 2001. – Т. 42, № 9. – С. 1377–1388.
7. Новиков И.С. Морфотектоника Алтая. – Новосибирск: Издательство СО РАН, Филиал «Гео», 2004. – 312 с.
8. Шерман С.И., Семинский К.Ж. Тектонофизические исследования в институте Земной коры СО РАН: принципиальные достижения и актуальные задачи // Геодинамика и тектонофизика. – 2010. – Т. 1, № 1. – С. 4–15.
9. Bahr K. Interpretation of magneto telluric impedance tensor: regional induction and local telluric distortion // J. Geophysics. – 1988. – P. 119–127.
10. Swift C.M. A magnetotelluric investigation of an electrical conductivity anomaly in the southwestern United States: Dissertation MIT. – Cambridge, 1967.

© Е. В. Поснеева, 2017