УДК 550.372

А.К.РЫБИН, *канд. физ.-мат. наук*, *директор*, *rybin@gdirc.ru*
В.Ю.БАТАЛЕВ, *канд. геол.-минерал. наук*, *вед. науч. сотр.*, *batalev@gdirc.ru*
Е.А. БАТАЛЕВА, *канд. геол.-минерал. наук*, *ученый секретарь*, *bataleva@gdirc.ru*
В.Е.МАТЮКОВ, *мл. науч. сотр.*, *vitaliy@gdirc.ru*
Научная станция РАН в г. Бишкеке, Киргизстан

A.K.RYBIN, *PhDr. phys.-mat. Sci.*, *Director*, *rybin@gdirc.ru*
V.Y.BATALEV, *PhDr. g.-m. Sci., Leading Research Fellow*, *batalev@gdirc.ru*
E.A. BATALEVA, *PhDr. g.-m. Sci., Scientific Secretary*, *bataleva@gdirc.ru*
V.E.MATUKOV, *Junior Research Fellow, vitaliy@gdirc.ru*
Research Station of RAS in Bishkek city, *Kyrgyzstan*

МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА ГЛУБИННЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ЗОНЕ СОЧЛЕНЕНИЯ ЮЖНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ И ТАРИМА

Детальное магнитотеллурическое и магнитовариационное профилирование (40 пунктов наблюдений) выполнено с применением широкодиапазонных измерительных станций MTU-5 (произведены компанией «Феникс Джеофизикс») и MT-24 (произведены Центром ЭМИ) на южном 140-километровом сегменте геофизического трансекта MANAS. Трансект пересекает Тянь-Шаньский ороген вкрест его простирания и протягивается от г. Кашгар (Китай) на юге до г. Бишкек (Киргизстан) на севере. С помощью профильных электромагнитных исследований построена двумерная геоэлектрическая модель, характеризующая слоисто-блоковую структуру литосферы в зоне сочленения Южного Тянь-Шаня и северного борта Таримской плиты. Выявлены низкоомные зоны разупрочнения, предположительно, связанные с пододвиганием Тарима под Тянь-Шань. Выделены геоэлектрические неоднородности разреза, указывающие на коровый масштаб современных деформаций в самом Таримском блоке.

***Ключевые слова**:* магнитотеллурическое и магнитовариационное профилирование, 2D-геоэлектрическая модель, геодинамика, Тянь-Шань.

MAGNETOTELLURIC EVIDENCE OF DEEP GEODYNAMIC SETTINGS AT THE JUNCTION ZONE OF THE SOUTHERN TIEN SHAN AND TARIM BASIN

Detailed magnetotelluric and magnetovariation profiling was conducted (40 broadband stations) at the southern 140 km segment of geophysical transect MANAS with the help of MT instruments: MTU-5 (produced by «Phoenix Geophysics Ltd») and MT-24 (produced by EMI Center). MANAS transect extended from south of Kashgar, China, to just south of Bishkek, Kyrgyzstan and crossing the whole Tien Shan orogenic belt in transverse direction of its main ranges strike. We constructed 2D geoelectric model to characterize block-fracture structure at the junction zone of the Southern Tien Shan. There is low resistive inclined zone in the obtained cross-section imaging the underthrusting process of Tarim tectonic sheets under the Tien Shan mountains. Also there are some electrical heterogeneities as indications that young deformations inside Tarim lithospheric block have the whole crust scale.

***Key words**:* magnetotelluric and magnetovariation profiling, 2D geoelectric model, geodynamics, Tien Shan.

Введение. По данным GPS, современное поперечное сжатие Тянь-Шаня поглощает около 50 % всей деформации, связанной с общей конвергенцией Индийской и Евразийской литосферных плит. Соответственно, среди исследователей существует представление о том, что жесткий блок Таримского массива пододвигается под южную окраину Тянь-Шаньского орогена и в результате мы имеем пример внутриконтинентальной субдукции. В своих работах различные авторы [2] приводят свидетельства поддвига Тарима под Тянь-Шань и этим процессом объясняют увеличение мощности нижней коры под южной окраиной Тянь-Шаня. Решение этого вопроса имеет принципиальное научное и прикладное значение (прежде всего для развития современной геодинамики, а также для понимания и прогнозирования сейсмичности). Большие перспективы в количественной оценке возможной амплитуды пододвигания фундамента Таримского массива под Тянь-Шань могут дать глубинные геофизические зондирования, в частности электромагнитные.

Электромагнитные данные по профилю Аксай – Артуш: измерения и обработка. Детальные магнитотеллурические и магнитовариационные исследования (всего 40 зондирований) проведены на участке Аксай – Артуш протяженностью 140 км геофизического трансекта MANAS, пересекающего весь Тянь-Шань в меридиональном направлении в полосе 75-76° восточной долгот (рис.1).

Полевые зондирования были выполнены сотрудниками Научной станции РАН в г. Бишкеке совместно с американскими геофизиками из Калифорнийского университета в Риверсайде. Всего было проведено: 5 длиннопериодных зондирований – LIMS, 18 широкодиапазонных зондирований с аппаратурой MT-24 и 17 широкодиапазонных зондирований с аппаратурой MTU-5. Средний шаг между пунктами наблюдений по профилю составил около 3 км.

Измерительные установки станций были ориентированы в широтном и меридиональном направлениях. Эти азимуты близки к направлениям простирания главных тектонических структур в регионе исследования.

Данные полевых зондирований обработаны программными средствами, реализующими современные алгоритмы спектрального анализа и входящими в штатный комплект измерительной аппаратуры, в режимах «local» и «remote reference» (рис.2).

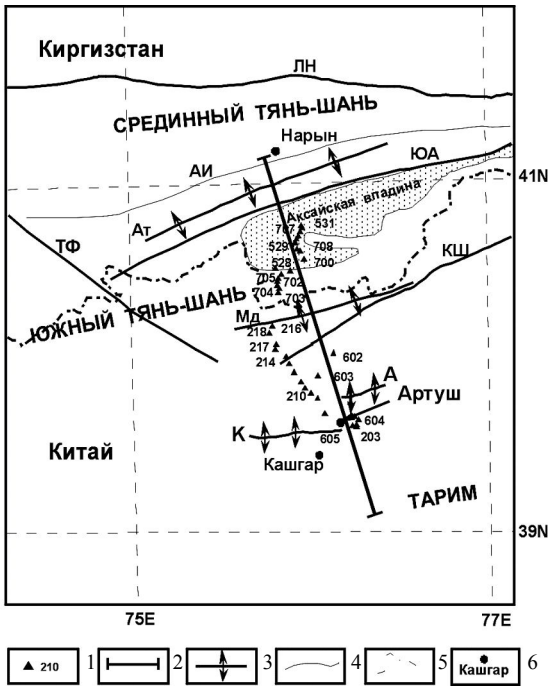


Рис.1. Карта-схема района магнитотеллурических исследований

Антиклинали: А – Артуш, Ат – Атбаши, К – Кашгар, Мд – Майдантаг. Разломы: АИ – Атбаши-Инильчекский, КШ – Кокшаальский, ЛН – линия Николаева, ТФ – Таласо-Ферганский, ЮА – Южно-Атбашинский; 1 – пункты МТЗ; 2 – линия МТ-профиля; 3 – оси поднятий; 4 – основные разломы; 5 – граница Киргизии с Китаем; 6 – крупные города

Полярные диаграммы тензора импеданса продемонстрировали его достаточно хаотичное поведение практически для всего интервала периодов зондирования, что говорит о сильном влиянии приповерхностных неоднородностей, осложняющих выделение глубинной информации.

Следующий шаг в построении интерпретационной модели профиля Аксай – Артуш – расчет и анализ угловых параметров асимметрии среды на основе схемы разложения тензора импеданса Ля Торрака [4]. Практически для всех пунктов МТЗ рассчитанные значения этих параметров близки к нулю, таким образом, можно рассматривать исследуемую среду как регионально-двумерную структуру.

Далее все наблюденные импедансы были проанализированы с помощью тензорной

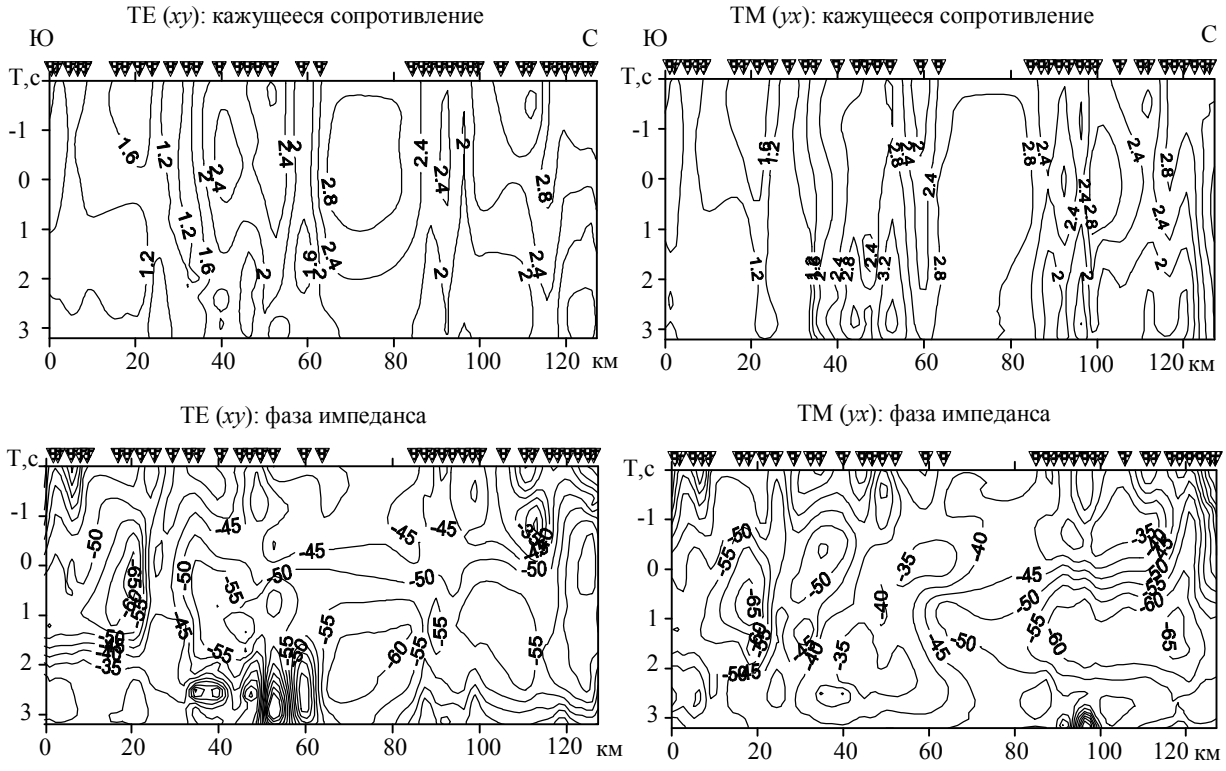


Рис.2. Псевдоразрезы десятичного логарифма модуля кажущегося сопротивления в ом-метрах и фазы импеданса в градусах. В верхней части каждого сечения треугольниками показаны пункты МТЗ. По вертикальной оси – периоды в секундах; по горизонтальной оси – расстояние в километрах

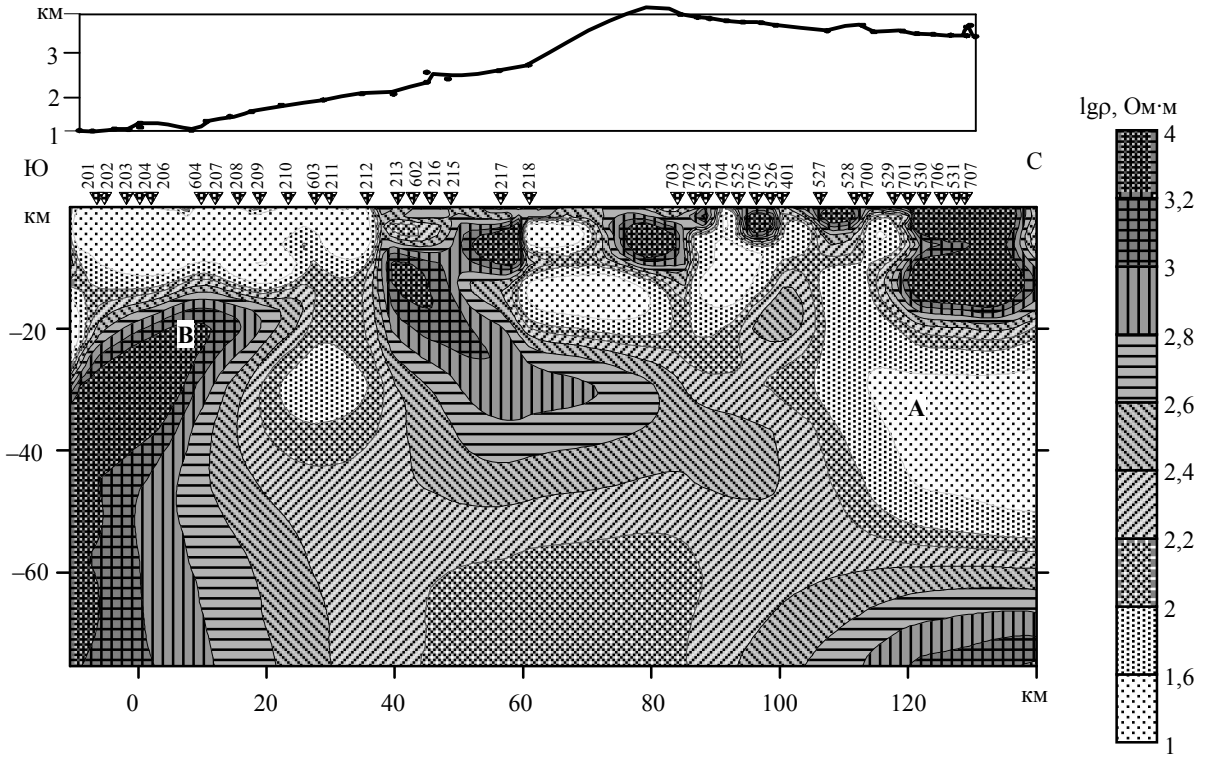


Рис.3. Геоэлектрический разрез вдоль профиля Аксай – Артуш, построенный с помощью программы двумерной инверсии Роди – Макки. В верхней части рисунка показаны рельеф и номера пунктов МТЗ

декомпозиции «Грума-Бейли» [3]. В большинстве пунктов профиля углы, отражающие влияние на электрическое поле локальных приповерхностных структур, не превышают 5°. Азимут регионального простирания двумерных глубинных неоднородностей «strike» колеблется в пределах $20 \pm 5°$. При среднем значении азимута регионального простирания N20W был выполнен разворот всех компонент тензора импеданса и типпера на угол 70° с помощью вращения Свифта.

Статическое смещение. Важнейшим этапом подготовки наблюденных МТ- и МВ-данных для проведения количественной интерпретации является диагностика и учет статических смещений кривых МТЗ. Статическое смещение проявляется в том, что амплитудные кривые испытывают вертикальное смещение своих ветвей [1]. Эффекты, вызывающие статическое смещение кривых, обусловлены неоднородностями в верхней части разреза и имеют гальваническую природу.

С учетом достаточно большого расстояния между пунктами профиля статическое смещение определялось путем конформного смещения кривых зондирования к среднему геометрическому значению сопротивления на самой высокой (100 Гц) частоте для каждого пункта. За исключением нескольких пунктов коррекция статического смещения не превышала коэффициента 2.

В результате выполнения всех перечисленных процедур был подготовлен необходимый входной массив электромагнитных данных для двумерной инверсии.

Инверсия. Для двумерной инверсии наблюденных данных использовалась программа Роди – Макки [6]. Входной массив инвертируемых данных включал в себя скорректированные значения кажущегося сопротивления и фазы импеданса для двух поляризаций электромагнитного поля, а также значения геомагнитного типпера, заданные в 40 точках на профиле протяженностью около 140 км для 11 периодов в интервале от 0,01 до 1600 с.

Сеточная аппроксимация модели имеет 116 горизонтальных и 115 вертикальных ячеек с латеральными изменениями, по размеру меньшими, чем коэффициент 1,5 между любыми соседними ячейками, чтобы удовлетворить ограничениям программы 2D-инверсии. С помощью 90 из 115 вертикальных ячеек в модель были введены параметры рельефа местности. Такая детальная аппроксимация рельефа необходима для обеспечения подбора данных на высоких частотах (от 100 Гц). После нескольких тестовых расчетов инверсии было определено значение параметра регуляризации tau = 3,0.

В результате выполненных 230 внутренних итераций в процессе совместной параллельной инверсии всего входного массива данных погрешность подбора данных по всем компонентам (RMS-невязка) составила 1,49. Результирующая модель профиля представлена на рис.3. Разрез получен как результат совместной бимодальной инверсии всех компонент тензора импеданса (модули/фазы) и типпера (Re/Im).

Интерпретация данных и заключение. Результаты электромагнитной инверсии в северной части профиля (пункты 703-707) подтверждают ранее полученные данные региональных геоэлектрических построений Центрального Тянь-Шаня о распространении в средней-нижней коре региона хорошо проводящего слоя. Так, отметим, что основным элементом северной части построенного геоэлектрического разреза (рис.3) является протяженная низкоомная зона А, которая начинается несколько южнее Аксайской впадины (пункты 527-707) и полого погружается под Тянь-Шань до глубины 50-60 км. Можно предположить, что положение этой зоны, как и подстилающего ее высокоомного слоя, фиксируемого между пунктами 211-218, отражает пододвигание литосферы Тарима под Тянь-Шань. Однако потребуется дополнительное обоснование вывода о принадлежности указанного высокоомного слоя Тянь-Шаню или Таримскому блоку.

Южная часть профиля исследования (пункты 201-218) фактически находится еще в пределах Тянь-Шаня и приурочена к поднятой Чультагской ступени с так называемыми Кэлпинскими кряжами, которая разделяет Кашгарскую и Аксуйскую глубокие ячеи Предтянь-Шанской системы предгорных прогибов [2]. При этом мощность мезозой-кайнозойских отложений здесь значительно сокращена в сравнении с Кашгар-

ским прогибом. Поэтому неожиданным фактом можно считать присутствие в самой верхней части геоэлектрического разреза достаточно мощной низкоомной структуры, которая прослеживается от самой южной точки профиля до пунктов 211-212 и достигает глубины 10-12 км. По-видимому, эта проводящая структура отвечает осадочному прогибу, погребенному под Кэлпинскими кряжами в результате горизонтальных движений в северном направлении отдельных элементов осадочного комплекса северной окраины Таримского массива. Такие интенсивные тектонические движения приводят к еще большему воздыманию Чультагской транзитной зоны в системе Предтянь-Шанских прогибов и ее сложному дроблению.

Пожалуй, другим неожиданным результатом геоэлектрических построений является высокоомная область В (рис.3), представляющая собой крупный выступ литосферы Таримского блока, выделяемый на глубине 10-50 км и более под антиклиналью Кашгар (пункты 201-209). В верхней части разреза над этой структурой другими исследователями с привлечением материалов приповерхностной геологии и сейсморазведки МОВ выделена слабонаклонная зона тектонической деструкции земной коры на интервале глубин от 6 до 10 км [4]. Такое пространственное совпадение участка локализации молодых верхнекоровых деформаций и более глубинного выступа может свидетельствовать о глубинной природе современных верхнекоровых деформаций южной окраины Тянь-Шаня. Данное обстоятельство явно не укладывается в рамки существующих представлений о жесткости и слабой деформируемости основания Таримского массива.

Авторы искренне благодарят проф. С.Парка из Калифорнийского университета в Риверсайде за активное участие в проведенном исследовании, а также проф. В.И.Макарова за обсуждение результатов интерпретации и полезные замечания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анализ и интерпретация магнитотеллурических данных / М.Н.Бердичевский, В.И.Дмитриев, Д.Б.Новиков, В.В.Пастуцан. М.: Диалог-МГУ, 1997. 161 с.

2. *Макаров В.И.* Взаимосвязь Тянь-Шаня с его обрамлением и механизмы внутриконтинентальных горообразовательных процессов // Современная геодинамика областей внутриконтинентального коллизионного горообразования (Центральная Азия). М.: Научный мир, 2005. С. 349-367.

3. *Groom R.W.* Decomposition of magnetotelluric impedance tensors in the presence of local three-dimensional galvanic distortion / R.W.Groom, R.C.Bailey. J.Geophys. Res. 1989. 94. 1913–1925.

4. Detachment folding in the Southwestern Tian Shan-Tarim foreland, China: shortening estimates and rates / K.M.Scharer, D.W.Burbank, J.Chen, R.J.Weldon, C.Rubin, R.Zhao, J.Shen // J. Structural Geology. 2004. V.26, pp.2119-2137.

5. *LaTorraca T.R.* An Analysis of the Magnetotelluric impedance for three dimensional conductivity structures / T.R.LaTorraca, T.R.Madden, J.Korringa // Geophysics. 1986. V 51, pp.1819-1829.

6. *Rodi W.L.* Nonlinear conjugate gradients algorithm for 2-D magnetotelluric inversion / W.L.Rodi, R.L.Mackie // Geophysics. 2001. V 66, pp.174-187.

REFERENCES

1. Analysis and interpretation of magnetotelluric data / M.N.Berdichevsky, V.I.Dmitriev, D.B.Novikov, V.V.Pastutcan. MOSCOW, DIALOG-MSU, 1997. 161 p. (in Russian).

2. *Makarov V.I.* Tien Shan and its margins relationship and mechanisms of intracontinental orogenic processes // Recent geodynamics of intracontinental areas of collision mountain building (Central Asia). MOSCOW, SCIENTIFIC WORLD, 2005, pp.349-367 (in Russian).

3. Groom,R.W., and R.C.Bailey, Decomposition of magnetotelluric impedance tensors in the presence of local three-dimensional galvanic distortion, J. Geophys. Res., 1989, 94, 1913–1925.

3. *Groom R.W.* Decomposition of magnetotelluric impedance tensors in the presence of local three-dimensional galvanic distortion / *R.W.Groom*, R.C.Bailey. J. Geophys. Res. 1989. 94. 1913–1925.

4. Detachment folding in the Southwestern Tian Shan-Tarim foreland, China: shortening estimates and rates / K.M.Scharer, D.W.Burbank, J.Chen, R.J.Weldon, C.Rubin, R.Zhao, J.Shen // J. Structural Geology. 2004. V.26, pp.2119-2137.

5. *LaTorraca T.R.* An Analysis of the Magnetotelluric impedance for three dimensional conductivity structures / T.R.LaTorraca, T.R.Madden, J.Korringa // Geophysics. 1986. V 51, pp.1819-1829.

6. *Rodi W.L.* Nonlinear conjugate gradients algorithm for 2-D magnetotelluric inversion / W.L.Rodi, R.L.Mackie // Geophysics. 2001. V 66, pp.174-187.