

**НОВЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ
О ГЛУБИННОМ СТРОЕНИИ ЗОНЫ СОЧЛЕНЕНИЯ
КИРГИЗСКОГО ХРЕБТА И ЧУЙСКОЙ ВПАДИНЫ**

И.В. Сафронов – мл. научн. сотр.

А.К. Рыбин – канд. физ.-мат. наук

В.В. Спичак – докт. физ.-мат. наук

В.Ю. Баталев – канд. геол.-минер. наук

Е.А. Баталева – канд. геол.-минер. наук

Results of detailed magnetotelluric profiling executed with application of state-of-the-art technology of data measurement and interpretation are presented. Profiles considered in the paper are located in complicated tectonic settings of coupling zone between Kyrgyz range and Chu basin at areas Tujk and Serafimovka. New knowledge of researched zone structure up to depths of some tens km is received.

Введение. Магнитотеллурические (МТ) исследования существенно дополняют имеющиеся представления о строении, минерагении и геодинамике земных недр, основанные на результатах бурения, сейсморазведки и гравимагнитометрии. Детальное МТ-профилирование с помощью измерительных станций МТУ-5 было выполнено Научной станцией РАН в течение нескольких последних лет на территории Бишкекского геодинамического полигона (БГП) для серии субмеридиональных профилей, расположенных в зоне сочленения Киргизского хребта и Чуйской впадины и представляющих отдельные сегменты Северо-Тянь-Шаньской системы разломов. Для одной из наиболее сейсмоактивных и сложноустроенных разломных зон Тянь-Шаня определена задача получения структурных ограничений. В рамках плейттектонической концепции Тянь-Шаньский ороген является отражением коллизионных процессов, происходящих в зоне столкновения Индо-Австралийской и Евроазиатской литосферных плит, поэтому главная структурообразующая роль отводится краевым надвигам [1–3]. И хотя упомянутые исследователи по-разному

понимают механизм становления данной горной страны, ни у кого не возникает сомнения, что основным фактором, определяющим ее появление, является субмеридиональное сжатие. В результате горизонтальных движений земной коры Тянь-Шаня (около 20 мм/год) в зонах сочленения впадин и горных хребтов наблюдается надвигание пород палеозойского фундамента на мезо-кайнозойские отложения, имеющие контрастные значения удельного электрического сопротивления. Таким образом, создаются определенные благоприятные условия для изучения погребенных проводящих осадочных структур с помощью МТ-метода.

Территория полигона включает большую часть Чуйской впадины и северного склона Киргизского хребта, ограничена простиранием в меридиональном направлении на расстояние около 150 км (см. прямоугольный контур на рис. 1).

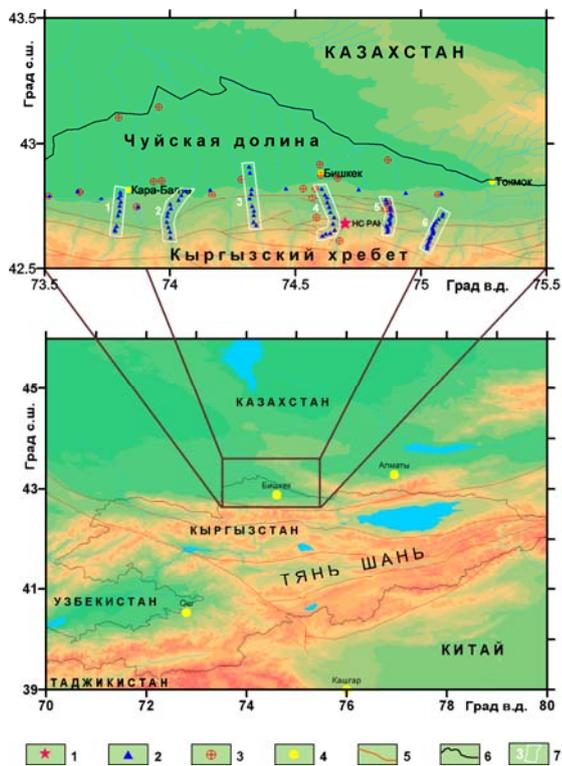


Рис. 1. Карта Северного Тянь-Шаня (Бишкекский геодинамический полигон – прямоугольный контур). 1 – научная станция РАН; 2 – пункты МТЗ; 3 – скважины; 4 – крупные города; 5 – разломы по [9]; 6 – граница Кыргызстана; 7 – номер МТ-профиля.

Полоса сочленения Чуйской впадины и предгорий Киргизского хребта представляет собой активную тектоническую зону, являющуюся объектом детальных исследований для гидрогеологов, неотектонистов, сейсмологов и геофизиков на протяжении многих лет. Предгорная Чуйская впадина наиболее изучена из всех впадин Кыргызстана благодаря большому объему структурного бурения, геофизических работ и многочисленным тематическим исследованиям [4–8].

Геолого-тектоническое описание района геофизических работ. В геолого-тектоническом плане основной участок представляемых геофизических работ относится к нескольким блокам

Предкиргизского прогиба [10]. С юга он граничит с Иссык-Атинской антиклиналью, локализованной в восточной части Киргизской мегантиклинали, с севера – с Чуйской моноклиной, Восточно-Чуйской впадины, являющейся частью обширной Чу-Сарысуйской системы прогибов, границей здесь служит флексурно-разрывная зона, выделенная по геофизическим данным [11, 12]. Основными разрывными нарушениями на данной площади (рис. 2) являются крупно амплитудный Шамси-Тюндюкский (Предкиргизский) разлом взбросового характера и Иссык-Атинский краевой разлом, который под острым углом сечет синклиналичную структуру основного прогиба и в то же время имеет четкое выражение в рельефе, отделяя равнинную часть Чуйской впадины от зоны предгорий. Исследуемая площадь сложена стратиграфическими отложениями протерозойского, палеозойского и кайнозойского возраста, которые контактируют друг с другом следующим образом: на предороженной поверхности выравнивания (пенеплене), представленной метаморфическими и магматическими породами протерозоя и палеозоя, с угловым несогласием залегают породы молассовой формации шамсинской и чуйской свит, а также комплекс четвертичных отложений.

Неоднозначность в понимании геолого-структурно-тектонической ситуации в зоне сочленения Киргизского хребта и Чуйской впадины [10, 11, 14, 15] и слабая геофизическая изученность данной сейсмоактивной зоны вызывают дополнительный интерес к проведению здесь детальных магнитотеллурических исследований на базе самой современной измерительной аппаратуры.

Полевые зондирования и обработка. На территории полигона Научной станции РАН сотрудниками осуществлены детальные магнитотеллурические наблюдения по шести субмеридиональным профилям (рис.1), пересекающим линии основных разломов в зоне сочленения хребта и впадины. В данной статье представлены результаты двух восточных профилей зондирования: Тунок и Серафимовка.

ГЕОФИЗИКА. ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Магнитотеллурические и магнитовариационные данные были получены

на 39 пунктах наблюдений. На участке Туук было выполнено

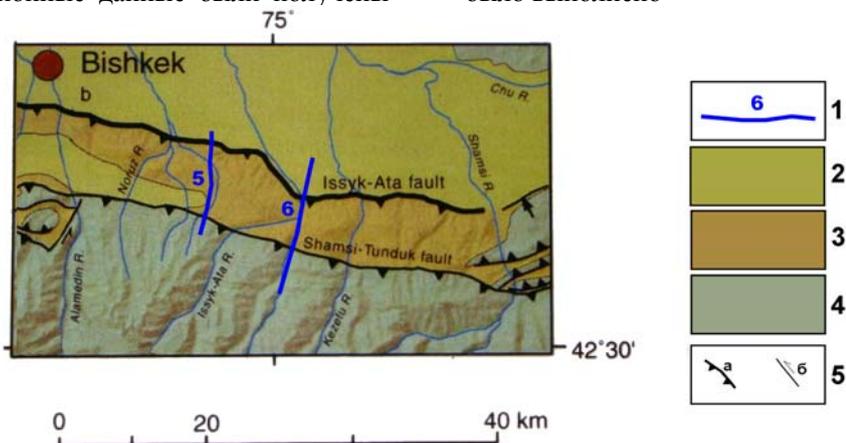


Рис. 2. Тектоническая карта южной части Чуйской впадины [13]. 1 – линия МТ-профиля; 2–4 – отложения: 2 – позднечетвертичные, 3 – позднекайнозойские, 4 – палеозойские; 5 – а) надвиги, б) сдвиги.

24 зондирования со средним шагом по профилю 0,5–0,7 км, на участке Серафимовка было выполнено 15 зондирований с шагом ~1 км соответственно. МТ-зондирования проведены с помощью двух измерительных станций MTU-5 канадской фирмы Phoenix Geophysics, в частотном диапазоне от 360 Гц до 2000 с.

Данные MTU-5 обработаны стандартной для этой аппаратуры программой SSMT2000 в режимах “local” и “remote reference”, реализующей современные алгоритмы спектрального анализа. Дополнительно для подавления промышленных помех и сглаживания передаточных функций в низкочастотном диапазоне использовалась программа CORRECTOR, разработанная сотрудниками геофизической компании “Северо-Запад”, г. Москва.

Измерительные установки станций MTU-5 были ориентированы в широтном и меридиональном направлениях. Эти азимуты могут рассматриваться как главные тектонические направления в регионе исследования, поэтому будем считать, что широтному направлению отвечает продольная, а меридиональному – поперечная компоненты тензора импеданса в случае двумерности среды. Полученные кривые МТЗ (модули

кажущегося сопротивления и фазы импеданса) показаны на рис. 3.

Анализ тензора импеданса. Начальный анализ искажений наблюдаемых кривых проведен с помощью метода полярных диаграмм [16]. Хаотичное поведение амплитудных диаграмм импеданса Z_{xy} свидетельствует о сильном влиянии приповерхностных неоднородностей, создающих случайный геологический шум. На рис. 4 показаны главные направления тензора импеданса, определенные с помощью разложения Бара, которые позволяют погасить влияние локальных трехмерных неоднородностей [17].

Азимуты главных направлений тяготеют к субширотной ориентации для низкочастотного интервала периодов. Согласно этим результатам, можно искать решение обратной геоэлектрической задачи в классе двумерных сред с широтным простиранием. Таким образом, будем рассматривать широтные и меридиональные кривые кажущегося сопротивления как, соответственно, продольные и поперечные по отношению к поверхностным геологическим структурам.

Дальнейший шаг в построении интерпретационной модели связан с

получением и анализом магнитотеллурических параметров неоднородности и асимметрии.

Параметризация импеданса, т.е. определение параметров: неоднородности N , углового параметра асимметрии A , амплитудного параметра асимметрии $Skew$ и фазочувствительного параметра Eta [18–20], производится с целью районирования исследуемой территории по “электрической размерности” среды. С их помощью оценивается степень горизонтальной неоднородности среды, локализуются выделяемые структуры.

Проведенный анализ рассмотренных параметров импеданса подтвердил предположение о суперпозиции локальных трехмерных структур с региональной двумерной структурой для исследуемой зоны.

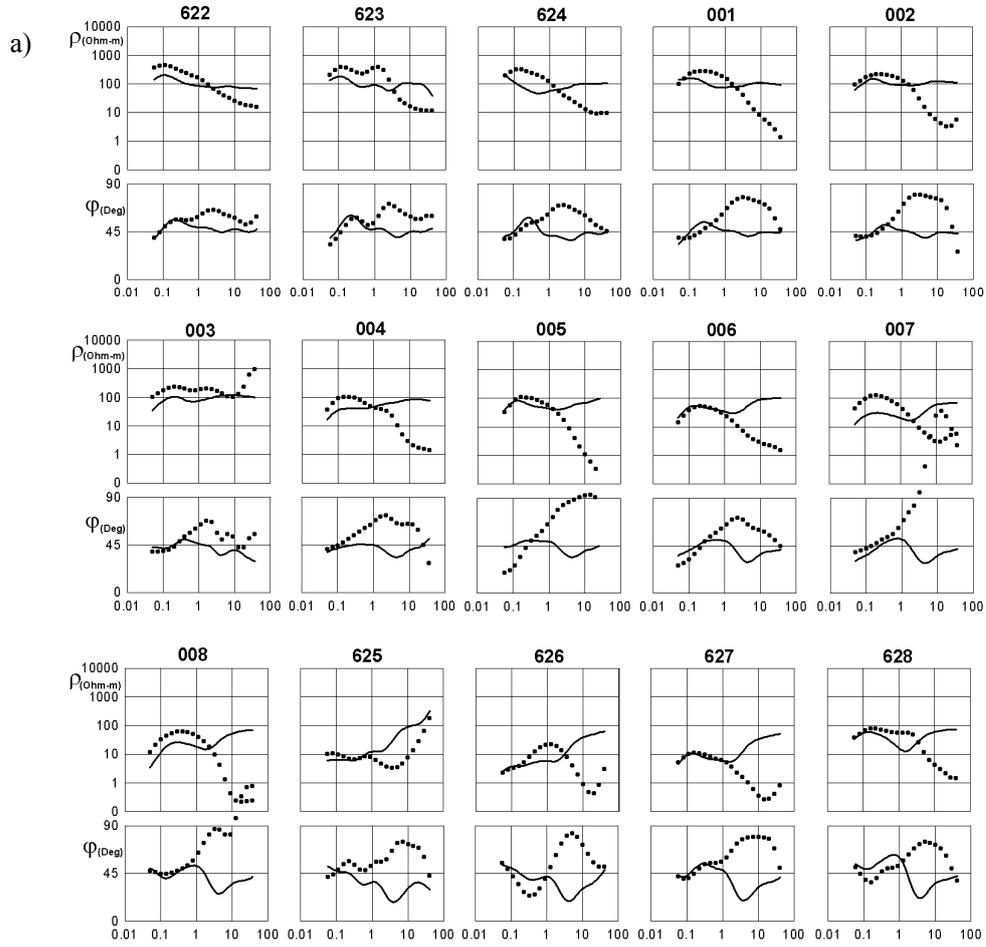
Нормализация кривых кажущегося сопротивления. Успех количественной интерпретации МТ-кривых во многом зависит от диагностики и учета их статических смещений, что особенно важно для

исследуемого региона. Статическое смещение проявляется в том, что амплитудные кривые испытывают вертикальное смещение своих ветвей [21]. Эффекты, вызывающие статическое смещение кривых, обусловлены неоднородностями в верхней части разреза и имеют гальваническую природу.

Для учета статического смещения выполнена нормализация широтных кривых кажущегося сопротивления с опорой на параметры проводящего слоя в нижней коре района исследований, заимствованных из полученной ранее региональной геоэлектрической модели [22–24]. В качестве “нормализующего репера” из ближайшего к району исследований сечения региональной модели были взяты параметры нижнекорового слоя (глубина кровли 30 км и продольная проводимость 400 См). На рис. 5 показаны примеры нормализации продольных амплитудных кривых для нескольких пунктов профиля Туяук.

Новые геофизические данные о глубинном строении зоны сочленения

Профиль Серафимовка



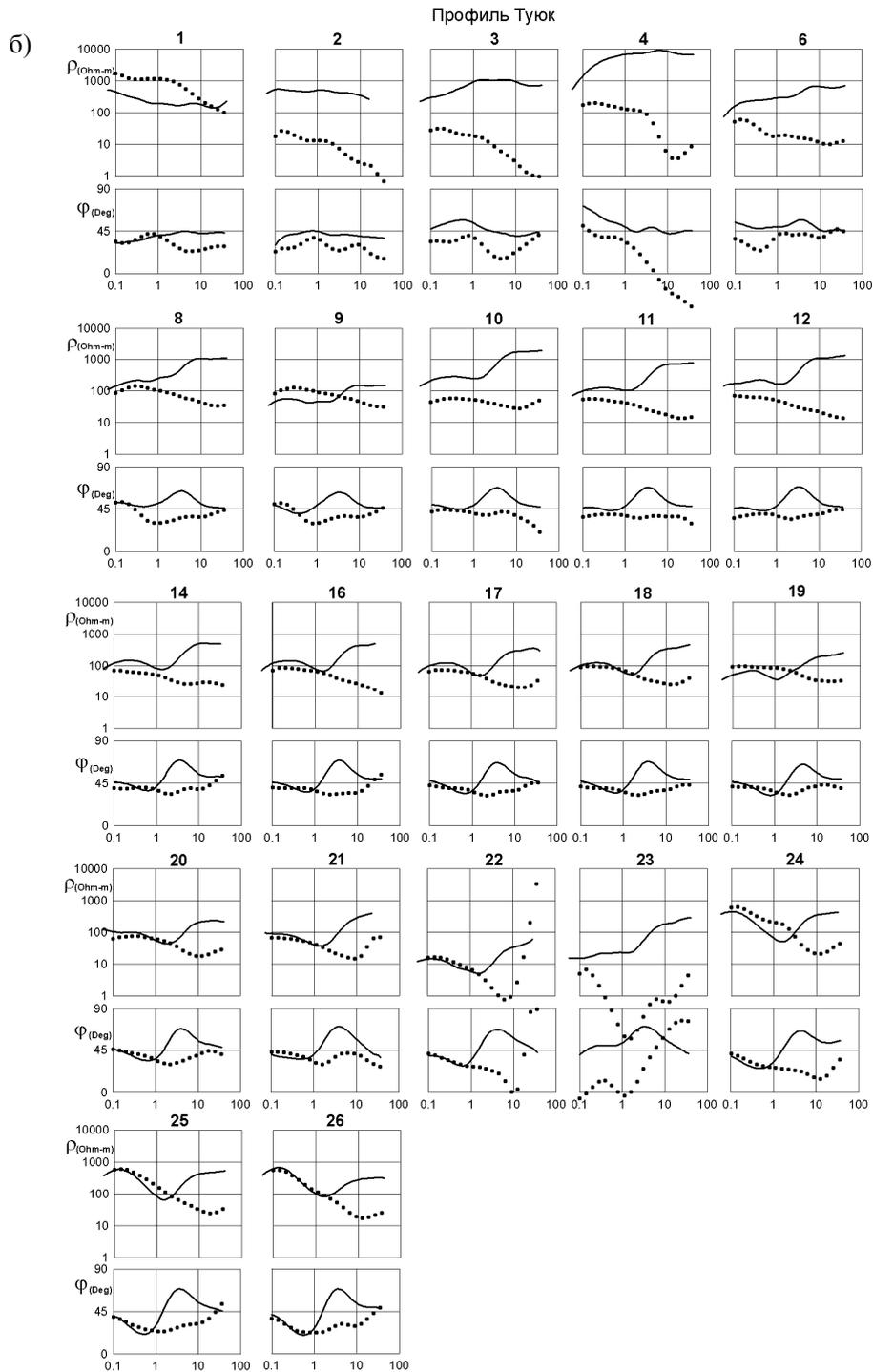


Рис. 3. Амплитудные кривые кажущегося сопротивления $\rho_k(\sqrt{T})$ и фазы импеданса $\varphi(\sqrt{T})$ по профилю МТЗ. \sqrt{T} измеряется в $\text{с}^{1/2}$. Сплошные линии – продольные кривые (xy), пунктирные – поперечные кривые (yx).

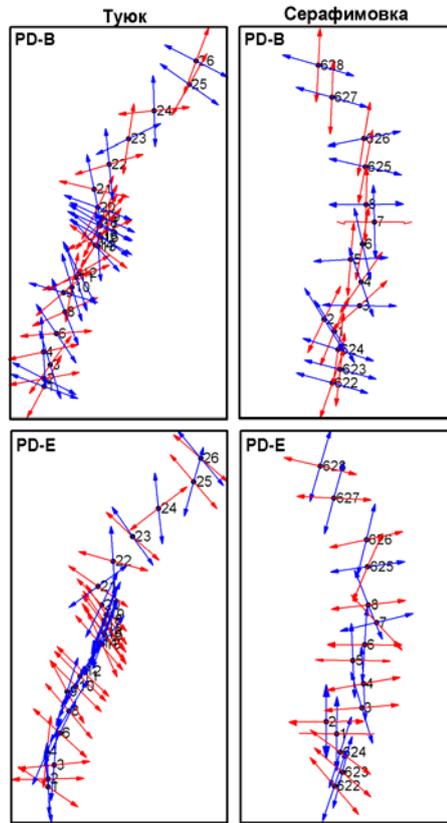


Рис. 4. Главные направления тензора импеданса для периода 625 с, определенные методом ортогонализации Эггера (PD-E) и с помощью разложения Бара (PD-B).

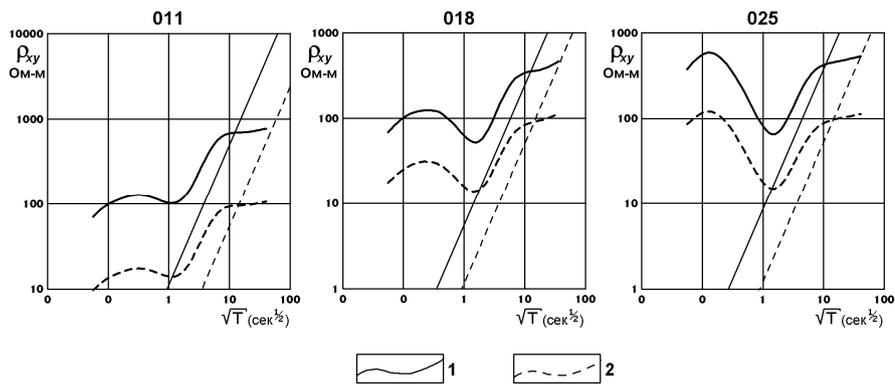


Рис. 5. Примеры нормализации продольных кривых кажущегося сопротивления с использованием региональной референс-геоэлектрической модели.
1 – исходная кривая ρ_{xy} ; 2 – нормализованная кривая ρ_{xy} .

Профильные геоэлектрические разрезы. Для каждого пункта МТЗ для обоих профилей выполнена совместная 1D-инверсия нормализованных продольных амплитуд кажущегося сопротивления и исходных фаз импеданса с помощью программы INVID Варенцова-Голубева. В результате объединения результатов “поточечной” инверсии синтезирован геоэлектрический разрез вдоль линии каждого профиля, полученные профильные геоэлектрические модели представлены на рис. 6.

Рассмотрим полученные профильные геоэлектрические разрезы.

Совершенно очевидно обособление низкоомного слоя (20-50 Ом·м) с подошвой на

глубине около 4–5 км. Он может целиком отвечать комплексу отложений новейшего орогенического комплекса, выполняющего предгорный прогиб и саму впадину. Несколько западнее рассматриваемого сечения в этой же тектонической зоне на этой же глубине установлен скачок скоростей продольных сейсмических волн от $V_p=5.2$ км/с до $V_p=5.8$ км/с [12], который отвечает, очевидно, границе кайнозойских отложений и палеозойского основания. Последнее вскрыто бурением в районе Серафимовского ущелья р. Норус на глубине 4100 м в ядре Серафимовского антиклинального поднятия [8].

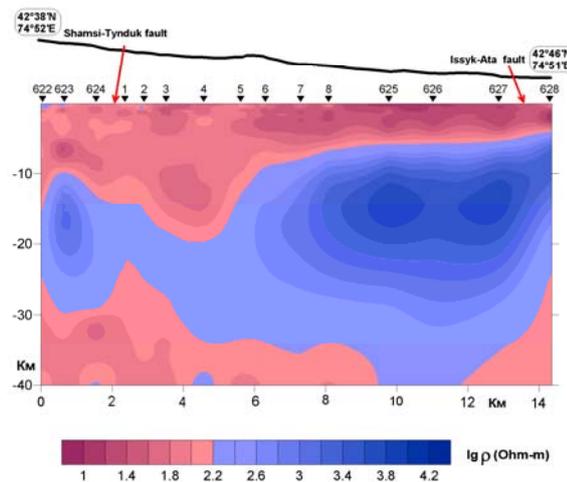
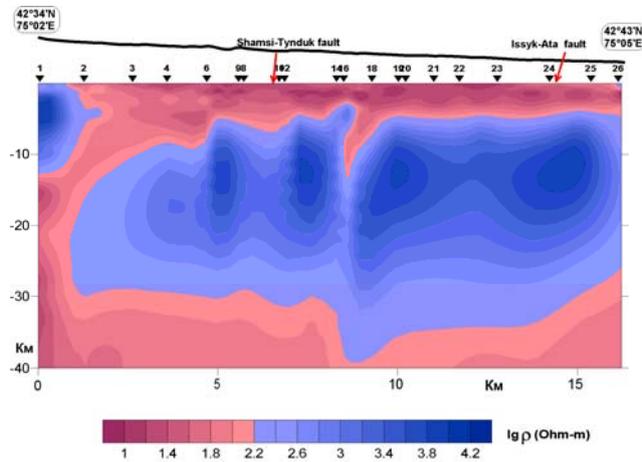


Рис. 6. Геоэлектрические разрезы, полученные по шести МТ-профилям.

Изолинии указывают I_g удельного сопротивления, Ом·м.

В южной верхней части разрезы несколько отличаются друг от друга. Низкоомный слой в южной части геоэлектрического разреза участка Туюк довольно резко заканчивается, обрамляясь высокоомными породами Киргизского хребта с сопротивлением около 3000 Ом·м. На участке профиля Серафимовка подобного высокоомного блока не наблюдается, вероятно, он расположен несколько южнее.

Слой земной коры, залегающий ниже рассмотренных глубин, отличается существенно иной структурой. На участке профиля Туюк в интервале глубин 5–25 км наблюдается чередование вертикально ориентированных зон высокой и низкой электропроводности. Обращает на себя внимание низкоомная зона в южной части разреза, которая, как и Шамси-Тюндюкский верхнекоровый разлом, достаточно полого погружается на юг под поднятие Киргизского хребта, представляя, вероятно, крупную коровую зону тектонического срыва, разупрочнения и повышенной флюидо- и газопроницаемости среды со свойствами волно-вода. Средняя и северная части представлены довольно мощным высокоомным блоком, с удельным сопротивлением, варьирующим от 500 до 5000 Ом·м. Подобный высокоомный блок выделяется и на участке Серафимовка, но здесь он имеет более сложную как внешнюю, так и внутреннюю форму. Мощность этого блока возрастает с юга на север и составляет 5–10 км в южной части разреза и 20–25 км – в северной. Сопротивление в блоке также распределено неравномерно: от 400–1000 Ом·м на юге до 2000–4000 Ом·м на севере.

Мощность и значительная протяженность по латерали этих высокоомных блоков позволяют высказать предположение, что они, по-видимому, соответствуют погребенным блокам древнего кристаллического основания.

Интересным и загадочным элементом модели на участке Туюк является низкоомный блок в интервале пунктов 14–19, представляющий собой некую

субвертикальную проводящую зону (50–100 Ом·м.), которая расчленяет рассмотренный выше высокоомный блок и уходит на глубину порядка 18–20 км. Интерпретация этой зоны требует дальнейшего рассмотрения.

В средней и нижней коре (25–40 км) на обоих разрезах четко выделяется проводящий слой, который испытывает небольшое погружение с юга на север под Чуйскую впадину. Сопротивление его возрастает в северном направлении от 30–50 до 80–100 Ом·м.

Выводы

1. С помощью детального магнитотеллурического профилирования высокого разрешения получены новые данные о глубинном геоэлектрическом строении зоны сочленения Киргизского хребта и Чуйской впадины.

2. Совместная инверсия фазовых и нормализованных амплитудных кривых позволила надежно проинтерпретировать данные МТЗ в сложных геоэлектрических условиях Северного Тянь-Шаня.

3. Выявлены проводящие области на различных глубинах земной коры, являющиеся ключевыми элементами структуры активных надвиговых зон Туюк – Серафимовского сегмента Северо-Тянь-Шаньской системы разломов.

4. На основе полученной геоэлектрической модели выдвинута гипотеза о существовании гальванической связи между проводящими объектами верхней и нижней частей разреза. Определены ограничения на возможную геометрию такой связи. Проверка данной гипотезы потребует в дальнейшем проведения уточняющих полевых зондирований и нового модельного эксперимента.

5. Убедительно продемонстрирована информативность магнитотеллурического метода для глубинного исследования надвиговых структур в орогенных областях.

Представленные результаты количественной интерпретации массива экспериментальных данных являются предварительными и промежуточными на

пути построения трехмерной геоэлектрической модели земной коры исследуемой территории. Тем не менее уже сейчас они имеют самостоятельное значение и дают указания для дальнейших действий как с точки зрения проведения дополнительных полевых зондирований, так и для осуществления целого ряда новых модельных экспериментов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 04-05-65103) и ИНТАС (грант 03-51-3327).

Литература

1. Бакиров А.Б., Лесик О.М., Лобанченко А.Н., Сабитова Т.М. Признаки современного глубинного магматизма в Тянь-Шане // Геология и геофизика. – 1996. – Т. 37. – № 12. – С. 42–53.
2. Bullen M. E., Burbank D. W and Garver J. I. Building the Northern Tien Shan: Integrated Thermal, Structural, and Topographic Constraints // Journal of Geology. – 2003. – V. 111.
3. Алешина Н.А. Результаты поискового и параметрического бурения на площади Серафимовская // Фонды Госгеолагентства КР. – Кочкор-Ата, 1991.
4. Алешина Н.А. Результаты поискового бурения на площади Сосновская // Фонды Госгеолагентства КР. – Кочкор-Ата, 1991.
5. Туняк А.П., Захарова Н.П. и др. Обработка материалов и составление сводного отчёта по Фрунзенской опорной скважине // Фонды агентства по геологии и минеральным ресурсам. – М., 1965.
6. Турсунгазиев Б., Иманалиев Ч. Отчёт о результатах бурения параметрических и структурно-поисковых скважин на нефть и газ в Восточно-Чуйской впадине // Фонды Госгеолагентства КР. – Фрунзе, 1965.
7. Макеев В.П. и др. Изучение структурно-вещественных комплексов, гидродинамических условий и коллекторских свойств пород фанерозоя Чуйско-Иссыккульского региона // Отчет партии прогноза нефтегазоносности Кыргызской методической экспедиции Государственного агентства по геологии и минеральным ресурсам за 2000–2004 гг. – Бишкек, 2004.
8. Карта новейшей тектоники Кыргызской ССР масштаба 1:500000 / Под ред. О.К. Чедия; Главное управление геодезии и картографии СССР. – М., 1988.
9. Макаров В.И., Макарова А.В. и др. Четвертичные отложения, геоморфология и неотектоника Кыргызской ССР // Окончательный отчет Кыргызской четвертичной партии геологического факультета МГУ по работам в 1957–1969 годах. – М.: МГУ, 1969.
10. Чедия О.К. Морфоструктуры и новейший тектоногенез Тянь-Шаня. – Фрунзе: Илим, 1986. – 316 с.
11. Юдахин Ф.Н. Геофизические поля, глубинное строение и сейсмичность Тянь-Шаня. – Фрунзе: Илим, 1983. – 248 с.
12. Макаров В.И., Абдрахматов К.Е., Томпсон С. Современные движения земной коры по геологическим данным // Современная геодинамика областей внутриконтинентального коллизионного горообразования (Центральная Азия) / Отв. ред. В.И. Макаров. – М.: Научный мир, 2005. – С. 157–177.
13. Миколайчук А.В. Новейшие разломы Кыргызского хребта // Наука и новые технологии. – Бишкек, 1999. – № 2. – С. 42–47.
14. Садыбакасов И. Неотектоника Высокой Азии. – М.: Наука, 1990. – 180 с.
15. Бердичевский М.Н., Безрук И.А., Сафонов А.С. Магнитотеллурические методы. Электроразведка: Справочник геофизика. – М.: Недра, 1989. – Т. 1. – С. 261–310.
16. Bahr K. Interpretation of magnetotelluric impedancetensor: regional induction and local telluric distortion // J.Geophys. – 1988. – V. 62. – P. 119–127.
17. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И., Новиков Д.Б., Пастуцан В.В. Анализ и интерпретация магнитотеллурических данных. – М.: Диалог-МГУ, 1997. – 161 с.
18. Eggers D.E. An Eigenstate formulation of the magnetotelluric impedance tensor // Geophysics. – 1982. – V. 47. – P. 1204–1214.
19. Swift C.M. A Magnetotelluric Investigation of an Electrical Conductivity Anomaly in the Southwestern United // Thesis. – 1967. – MIT Cambridge. – P. 211.
20. Бердичевский М.Н., Ваньян Л. Л., Дмитриев В.И. Интерпретация глубинных магнитотеллурических зондирований. Влияние поверхностной проводимости // Физика Земли. – 1986. – № 12. – С. 24–38.

21. Баталев В.Ю., Бердичевский М.Н., Голланд М.Л., Голубцова Н.С., Кузнецов В.А. Интерпретация глубинных магнитотеллурических зондирований в Чуйской межгорной впадине // Изв. АН СССР. Физика Земли. – 1989. – № 9. – С. 42–45.
22. Трапезников Ю.А., Андреева Е.В., Баталев В.Ю., Бердичевский М.Н., Ваньян Л.Л., Волыхин А.М., Голубцова Н.С., Рыбин А.К. Магнитотеллурические зондирования в горах Киргизского Тянь-Шаня // Физика Земли. – 1997. – № 1. – С. 3–20.
23. Рыбин А.К., Баталев В.Ю., Ильичев П.В., Щелочков Г.Г. Магнитотеллурические и магнитовариационные исследования Киргизского Тянь-Шаня // Геология и геофизика. – 2001. – Т. 42. – № 10. – С. 1566–1173.
24. Варенцов И. М. Общий подход к решению обратных задач магнитотеллурики в кусочно-непрерывных средах // Физика Земли. – 2002. – № 11. – С. 11–33.