

УДК 550.372

## РЕЗУЛЬТАТЫ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ ЗОНДИРОВАНИЙ В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТАЛАСО-ФЕРГАНСКОГО РАЗЛОМА

Е.А. Баталева, В.Ю. Баталев, В.Е. Матюков, А.К. Рыбин

Представлены результаты интерпретации магнитотеллурических данных, полученных по Чаткальскому профилю в северо-западной части района исследования, что свидетельствует о существовании тенденции к ослаблению выявленной ранее аномалии электропроводности, приуроченной к зоне Таласо-Ферганского разлома.

*Ключевые слова:* метод псевдорельефов; коровый проводник; электропроводность; геоэлектрические модели.

В настоящее время в зоне Таласо-Ферганского разлома (ТФР) выполнено 135 МТ-зондирований (рисунок 1). Интерпретация данных проводилась на основе расчета двумерных геоэлектрических моделей зоны ТФР и решения прямой 2D-задачи с учетом того, что простирание ТФР диагональное по отношению к основным тектоническим структурам Тянь-Шаня, характеризующимся широтным простиранием. В результате этих работ в зоне Таласо-Ферганского разлома был обнаружен эффект вытеснения поперечного тока [1–4] и описана аномальная зона электропроводности [5; 6, с. 1026–1032].

Таласо-Ферганский разлом северо-западного простирания является крупнейшим разрывным нарушением Центральной Азии и одним из главных

структурных элементов Тянь-Шаня. Большинство исследователей Таласо-Ферганского разлома интерпретируют разлом как правосторонний сдвиг, который был заложен в палеозое и активизировался в кайнозойское время в результате начавшегося сокращения земной коры вследствие Индо-Евразийской коллизии.

По сравнению с геологической изученностью, зона секущих деформаций Таласо-Ферганского разлома геофизическими методами представлена достаточно слабо, основное внимание было уделено центральной ее части, расположенной в зоне Токтогульского водохранилища. По геофизическим данным [7; 8, с. 105–112], Таласо-Ферганский разлом выделяется как структура, разделя-

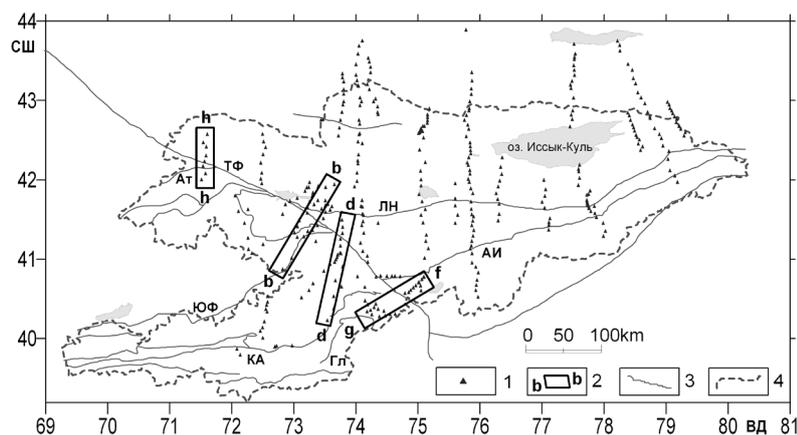


Рисунок 1 – Схема геоэлектрической изученности Киргизского Тянь-Шаня методом МТЗ: 1 – пункты МТЗ; 2 – профили, по которым производилась 2D-инверсия МТ-данных, рассматриваемая в настоящей работе; 3 – крупные разломы: ТФ – Таласо-Ферганский; ЛН – Линия Николаева; АИ – Атбаши-Иньльчекский; Ат – Атойнокский; ЮФ – Южно-Ферганский; КА – Кичик-Алайский; Гл – Гюльчинский, 4 – граница Кыргызстана

ющая Тянь-Шань на две части – северо-восточную и юго-западную, которые различаются по строению земной коры и верхней мантии. Интересным моментом является хорошее соответствие результатов интерпретации магнитотеллурического зондирования [5, 6] и сейсмомографии [9, с. 58–67]. Обычно при сопоставлении геоэлектрических и сейсмомографических моделей рассматривается корреляция геоэлектрических структур повышенной электропроводности с низкоскоростными слоями, однако для зоны ТФР наблюдается соответствие структур с противоположными свойствами, т. е. высокоомной геоэлектрической структуре из модели МТЗ (изолятору) соответствует высокоскоростная структура сейсмического разреза. Целью настоящей работы является включение результатов 2D-моделирования по Чаткальскому профилю (h-h) (см. рисунок 1) в общую геоэлектрическую модель зоны ТФР в связи с реализацией нового этапа электромагнитных исследований в зоне ТФР, осуществленного в 2010–2011 гг. с использованием аппаратуры Phoenix MTU-5, разработанной компанией Phoenix Geophysics.

С помощью теоретических расчетов профессор М.Н. Бердичевский оценил влияние глубинных субвертикальных проводящих тел на Н-моду двумерных теоретических моделей и моделей реальных сред [10, с. 99–117; 11]. В результате расчетов двумерных моделей и анализа поведения поперечных кривых МТЗ, установлено, что по субвертикальным проводящим зонам может происходить перераспределение теллурических токов, индуцированных в коровых проводниках. На дневной поверхности при этом образуются восходящие поперечные кривые магнитотеллурического зондирования, характеризующиеся изменением уровня до двух-трех порядков. При совместном рассмотрении приведенной в работе [10] двумерной модели по Малому Кавказу и теоретической модели [11], подчеркиваются основные признаки эффекта вытеснения поперечного тока.

Научная станция впервые выполнила серию профильных зондирований через зону ТФР еще в 1985 г. Морфологический анализ наблюдаемых кривых МТ-зондирования приводится в работах [1; 2, с. 180–189; 5]. Данные МТ-зондирования, полученных на склонах Ферганского хребта, резко отличались от обычных кривых кажущегося сопротивления, получаемых повсеместно на Тянь-Шане, – они являются круто восходящими во всем рабочем диапазоне периодов (от 0,1 до 1600 с).

При решении прямых 2D-задач для зоны ТФР [1] показано, что для проявления эффекта вытеснения поперечного тока очень критична проводи-

мость поверхностных слоев, через которые происходит перетекание поперечных токов между раздельными частями корового проводящего слоя. С увеличением проводимости поверхностных слоев поперечные кривые кажущегося сопротивления, естественно, перестают быть восходящими.

При интерпретации результатов в зоне Таласо-Ферганского разлома была выделена аномалия электропроводности (комбинация коровых проводников) [5], которая по морфологическим признакам подразделяется на три звена – Таласское, Центральное и Южное. Эти звенья также различаются по глубинному строению земной коры и верхней мантии и различным характеристикам геофизических полей. Ширина аномалии электропроводности составляет 10–15 км, а глубина залегания достигает 45 км. На рисунке 2 в качестве примера показано наиболее характерное сечение Центрального звена ТФР (профиль b-b).

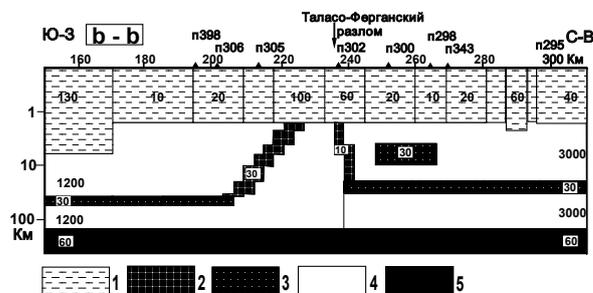


Рисунок 2 – Результаты 2D-инверсии МТ-данных по профилю b-b в качестве примера, полученные с помощью пакета программ INV2D [6]. 1 – осадочный чехол; 2 – субвертикальные проводящие зоны; 3 – коровые проводники; 4 – высокоомный фундамент; 5 – астеносфера

В 2011 г. Научной станцией РАН были выполнены МТЗ по детализационному профилю (h-h), секущему зону Таласо-Ферганского разлома (см. рисунок 1) в районе Чаткальского хребта, в 75 км западнее г. Талас (71,5° в. д.). Профиль (h-h) расположен в западной части Ферганского хребта и северной части Чаткальского, на нем выполнено 8 глубинных зондирований с шагом зондирования 5–10 км. При проведении МТЗ с помощью пятиканальной станции Phoenix MTU-5 по профилям через Тянь-Шань использовалась адаптированная для горных условий методика наблюдений и выбор настроек станции [1, 12, 13]. На каждом пункте наблюдения профиля (h-h) продолжительность записи составляла 72 часа. Записи пяти компонент электромагнитного (э/м) поля были обработаны стандартной для аппаратуры Phoenix программой SSMT2000. Для редукции индустриальных помех

и сглаживания магнитотеллурических передаточных функций использовалась программа CORRECTOR, разработанная сотрудниками геофизической компании “Северо-Запад”. Для получения МТ-МВ передаточных функций в низкочастотном диапазоне использовались реализации длительностью порядка 60 часов. Редактирование кривых, 1D- и 2D-инверсия, построение качественных и количественных разрезов производились в программе Rodi-Mackie.

Влияние “геологического шума” может быть скомпенсировано нормализацией кривых МТЗ и уменьшено в процессе инверсии данных приданием МТ-компонентам меньших весов, чем МВ-компонентам. Сложность этой задачи усугубляется еще и тем, что осадочный чехол на Тянь-Шане (в пределах профиля) может полностью отсутствовать на горных хребтах и достигать мощности в несколько километров во впадинах, соответственно широк и диапазон изменения суммарной проводимости чехла. Одним из успешных решений описанной задачи является применяемая Научной станцией РАН методика магнитовариационной нормализации, основанная на приоритетном использовании МВ-данных по отношению к магнитотеллурическим [13].

В результате обработки и анализа полевых материалов МТЗ для процедуры двумерной инверсии был подготовлен входной ансамбль электромагнитных данных. Инверсия выполнялась с помощью программы Rodi-Mackie в восьми точках профиля длиной 65 км для двух поляризаций электромагнитного поля. Результирующая модель профиля Чаткал (h-h) представлена на рисунке 3.

Для большей части территории Киргизского Тянь-Шаня субширотные направления рассматриваются как основные направления тектонических структур. Соответственно, продольная компонента тензора импеданса отвечает широтному направлению, а поперечная – меридиональному. В отношении Чаткальского профиля (h-h), секущего зону ТФР, логичнее было бы предположить, что ось двумерности тектонических структур будет ориентирована вдоль простирания ТФР, т. е. диагонально, как и для ранее выполненных профилей, b-b, d-d [6]. Рассмотрим положение профиля (h-h) по отношению к Таласо-Ферганскому и Атойнокскому разломам (см. рисунок 1) более детально. При пересечении с Чаткальским профилем (h-h) Атойнокский глубинный разлом имеет ЮЗЗ простирание, а ТФР – СЗЗ простирание. На больших периодах электропроводящие зоны разломов такой ориентации могут слиться в единую субширотную зону. В подтверждение этому, азимуты максималь-

ных и минимальных кривых МТЗ для  $T > 100$  с в пунктах 879 и 880, локализованных в непосредственной близости к зоне ТФР, составляют  $0^\circ$  и  $90^\circ$ . Векторы Визе в интервале периодов от трех до двадцати секунд (см. рисунок 3) направлены вдоль меридиана к северу (пункт 884) и югу от аномалии (пункт 879). В средней части участка (пункты 880–882) индукционные стрелки характеризуются малой длиной и произвольной ориентацией, что обычно и наблюдается над “осью” токовой системы. Указанные наблюдения свидетельствуют о том, что ось двумерности для рассматриваемого участка профиля, несмотря на присутствие мало-глубинных проводящих объектов, в целом ориентирована субширотно. Распределение значений Skew для профиля (h-h) подтверждает сделанные выводы. На рисунке 3 представлена 2D-модель для профиля (h-h), в которой светлыми тонами показаны коровый проводник и субвертикальные проводящие зоны, темным – высокоомные массивы пород фундамента. Коровые проводники залегают субгоризонтально на глубинах от 20–30 до 50–55 км. Структура коровой проводимости сходна с таковой для ранее полученных разрезов через зону ТФР. Коровый проводящий слой в интервале между пунктами 879 и 878 прерывается, и поперечные токи между СВ и ЮЗ частями корового проводника могут перетекать только через субвертикальные зоны. Мощность приповерхностных проводящих образований, через которые происходит

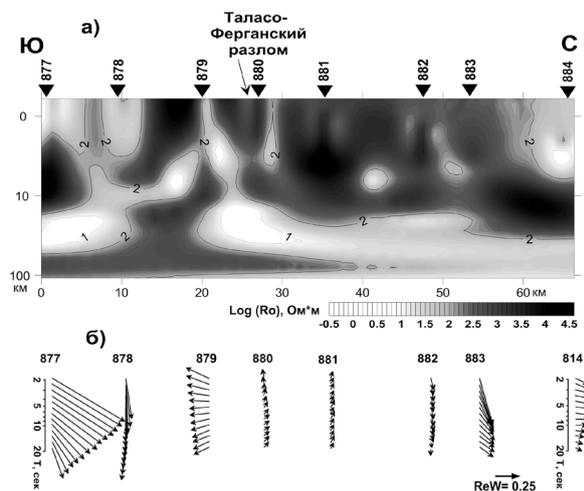


Рисунок 3 – Результаты 2D-инверсии МТ-данных по профилю h-h, полученные с помощью пакета программ Rodi-Mackie в сопоставлении с распределением реальных векторов Визе в интервале периодов 2–20 с

перетекание поперечных токов непосредственно под пунктом 879, составляет до 6–7 км, достаточно, чтобы здесь могла сформироваться восходящая поперечная кривая МТЗ. Очевидно, этим и обусловлено отсутствие восходящих поперечных кривых в осевой части Ферганского хребта в зоне ТФР (см. рисунок 3). Однако структура аномалии электропроводности, приуроченной к зоне ТФР, еще сохраняется, т. е. наблюдается разрыв между СВ (со стороны Нарынской впадины) и ЮЗ (со стороны Ферганской впадины) частями корового проводника и присутствуют субвертикальные проводящие зоны. Структура аномалии – сочетание субвертикальных проводящих зон и частей корового проводника на профиле (h-h), схожа со структурой аномалии электропроводности Центрального звена зоны ТФР (профиль b-b), показанной на рисунке 3.

Дополнительные МТЗ, выполненные по Чаткальскому профилю в западной части ТФР, подтвердили ранее высказываемые предположения о пространственной структуре электропроводности земной коры зоны ТФР. Сочетание коровых проводящих слоев и субвертикальных проводящих зон на этом профиле имеет тот же характер, что и повсеместно вдоль всей зоны ТФР. На западном окончании Таласского звена аномалии электропроводности, приуроченной к зоне ТФР, следует отметить следующее: во-первых, приповерхностные проводящие объекты, через которые происходит перетекание поперечных токов между СВ (со стороны Нарынской впадины) и ЮЗ (со стороны Ферганской впадины) частями корового проводника, имеют высокую мощность (до 7 км) и высокую суммарную проводимость, вследствие чего поперечные кривые МТЗ не являются восходящими. Во-вторых, ширина высокоомного блока, разделяющего СВ и ЮЗ части корового проводника по профилю h-h, составляет около 10 км, в то время как повсеместно вдоль всей зоны ТФР она оценивается в 35–40 км. Таким образом, на основании результатов интерпретации новых МТ-данных можно говорить о существовании тенденции к ослаблению аномалии электропроводности, приуроченной к зоне ТФР.

Представленные исследования осуществляются при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (госконтракт № 02.740.11.0730) и частично при поддержке РФФИ (грант 10-05-00572-а).

#### Литература

1. *Баталев В.Ю.* Глубинное строение и геодинамика западной части Кыргызского Тянь-Шаня по данным магнитотеллурических и магнитовариационных зондирований: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук / В.Ю. Баталев. Новосибирск, 2002. 24 с.
2. *Баталев В.Ю.* Таласо-Ферганский разлом – глубинное строение и геодинамика (на основе данных геоэлектрики) / В.Ю. Баталев, А.К. Рыбин, Г.Г. Щелочков и др. // Геодинамика и геоэкологические проблемы высокогорных регионов. М.; Бишкек: Изд. дом “Printhouse”, 2003.
3. *Баталева Е.А.* Явление вытеснения поперечного тока в зоне Таласо-Ферганского разлома и некоторые геодинамические выводы / Е.А. Баталева, А.К. Рыбин, В.Ю. Баталев // Геодинамические, сейсмологические и геофизические основы прогноза землетрясений и оценки сейсмического риска: матер. 5-й Каз.-Рос. межд. конф. Алматы: Умит, 2005.
4. Современная геодинамика областей внутриконтинентального коллизионного горообразования (Центральная Азия). М.: Научный мир, 2005. 420 с.
5. *Баталева Е.А.* Глубинная структура крупнейших разломных зон западной части Кыргызского Тянь-Шаня и современная геодинамика (по данным МТЗ): автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук / Е.А. Баталева. Новосибирск, 2005. 20 с.
6. *Баталева Е.А.* Аномалии электропроводности зоны Таласо-Ферганского разлома и геодинамическая интерпретация глубинной структуры Юго-Западного Тянь-Шаня / Е.А. Баталева, М.М. Буслов, А.К. Рыбин и др. // Геология и геофизика. 2006. № 9.
7. *Юдахин Ф.Н.* Геофизические поля, глубинное строение и сейсмичность Тянь-Шаня / Ф.Н. Юдахин. Фрунзе: Илим, 1983. 248 с.
8. *Юдахин Ф.Н.* Таласо-Ферганский разлом – новейшая структура в геодинамике Тянь-Шаня / Ф.Н. Юдахин // Геологическое строение и сейсмичность Токтогульского и Фрунзенского полигонов. Фрунзе: Илим, 1988.
9. *Адамова А.А.* Трехмерная скоростная модель земной коры Тянь-Шаня / А.А. Адамова, Т.М. Сабитова // Физика Земли. 2004. № 5.
10. *Бердичевский М.Н.* Опыт интерпретации МТ-зондирований в горах Малого Кавказа / М.Н. Бердичевский, В.П. Борисова, Н.С. Голубцова и др. // Физика Земли. 1996. № 4.
11. *Бердичевский М.Н.* Анализ и интерпретация магнитотеллурических данных / М.Н. Бердичевский, В.И. Дмитриев, Д.Б. Новиков и др. М.: Диалог-МГУ, 1997. 161 с.
12. *Рыбин А.К.* Глубинные электромагнитные зондирования в Центральной части Кыргызского

*Г.Б. Бахмагамбетова*

---

Тянь-Шаня: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук / А.К. Рыбин. М., 2001. 20 с.

13. *Рыбин А.К.* Глубинное строение и современная геодинамика Центрального Тянь-Шаня по

результатам магнитотеллурических исследований / А.К. Рыбин. М.: Научный мир, 2011. 232 с.