

УДК 550.83

А.К. Рыбин¹, П.Ю. Пушкарев², А.Ю. Паленов³, К.А. Иванова⁴, А.Н. Мансуров⁵,
В.Е. Матюков⁶

НОВЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ О ГЛУБИННОЙ СТРУКТУРЕ МЕЖГОРНЫХ ВПАДИН ТЯНЬ-ШАНЯ⁷

Представлены новые результаты детального исследования глубинной структуры Иссик-Кульской системы межгорных впадин электромагнитными и геомагнитными методами. С помощью профильной магнитометрической съемки через акваторию оз. Иссик-Куль выявлена зона положительного магнитного поля шириной 30 км с амплитудой около +100 нТл, природу которой можно объяснить присутствием выходов гранитоидных интрузий позднепалеозойского возраста. Обсуждаются вопросы построения региональной геоэлектрической модели по магнитотеллурическому профилю Барскаун, в меридиональном направлении пересекающему центральную часть Иссик-Кульской впадины. На основе обобщения ранее полученных результатов комплексных исследований по геофизическому трансекту MANAS построен структурно-геодинамический разрез литосферы вдоль этого профиля. В полученном разрезе отчетливо проявляется взаимосвязь поверхностных и глубинных сейсмических и геоэлектрических структур в литосфере Нарыно-Атбашинской системы межгорных впадин.

Ключевые слова: новейшая тектоника, геодинамика, геофизика, магнитотеллурические зондирования, геомагнитное поле, Тянь-Шань, межгорные впадины.

The paper presents new results of detailed electromagnetic and geomagnetic investigations of the deep structure of the Issyk-Kul intermountain depressions system. Magnetic survey profile across the Issyk-Kul water area allowed revealing 30 km wide zone of positive magnetic field of about +100 nT magnitude, which can be explained by outcrops of late Paleozoic granite intrusions. We discuss the construction of regional resistivity model along the magnetotelluric profile Barskoon, crossing the central part of Issyk-Kul depression in north-south direction. On the basis of previously obtained results of integrated investigations along the MANAS geophysical transect, the structural-geodynamic cross-section of the lithosphere along this profile was constructed. This cross-section clearly indicates the interconnection of near-surface and deep seismic and geoelectric structures in the lithosphere of the Naryn-Atbashi intermountain depressions system.

Key words: modern tectonics, geodynamics, geophysics, magnetotelluric soundings, geomagnetic field, Tien-Shan, intermountain depressions.

Введение. В рамках концепции тектонической (структурно-геодинамической) расслоенности литосферы развивается представление о том, что горные впадины Тянь-Шаня различаются не только по внешним параметрам (высоте нахождения, размерам, мощности выполняющих их отложений), но и по природе, что отражает разные геодинамические условия их развития [Макаров, 1977, 2005, 2008], вследствие чего горные впадины можно разделить на две категории: 1) межгорные и предгорные и 2) внутригорные. Они существенно различаются по глубине заложения, а их структурно-морфологические и формационные отличия имеют генетическую (геодинамическую) природу. Внутригорные впадины в большей мере отражают условия субмеридиональ-

ного сжатия коры, это преимущественно верхнекоровые дислокационные образования, они отвечают достаточно простым (элементарным) складкам продольного смятия древнего основания. Развитие межгорных и предгорных впадин в значительной мере обусловлено глубинными процессами в верхней мантии и нижней коре.

Такие представления, опирающиеся на структурные особенности строения горных впадин Тянь-Шаня, несомненно, нуждаются в обстоятельном геофизическом объяснении. Первые шаги на пути исследования возможной взаимосвязи глубинной структуры депрессионных областей Тянь-Шаня с рельефообразующими формами сделаны в работе [Макаров и др., 2012].

¹ ФГБУН Научная станция РАН, Бишкек, директор, зав. лабораторией, докт. физ.-мат. н.; *e-mail:* rybin@gdirc.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, доцент, канд. физ.-мат. н.; *e-mail:* pavel_pushkarev@list.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, ассистент; *e-mail:* palenov@mail.ru

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, студентка; *e-mail:* katun91@list.ru

⁵ ФГБУН Научная станция РАН, Бишкек, мл. науч. с.; *e-mail:* sur@gdirc.ru

⁶ ФГБУН Научная станция РАН, Бишкек, мл. науч. с.; *e-mail:* vitality@gdirc.ru

⁷ Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (грант № 11-05-00840а).

В статье рассматриваются и обсуждаются результаты детальных электромагнитных, геомагнитных и сейсмических наблюдений, выполненных за последние несколько лет на территории Центрального Тянь-Шаня. На основе этих результатов получены новые данные о глубинном строении системы Иссyk-Кульской и Нарыно-Атбашинской межгорных впадин и сделаны выводы о взаимоотношении структурных этажей литосферы этих депрессионных областей.

Магнитометрическая съемка через оз. Иссyk-Куль.

В 2012 г. совместным отрядом сотрудников кафедры геофизики геологического факультета МГУ и Научной станции РАН в Бишкеке выполнен субмеридиональный магнитометрический профиль через оз. Иссyk-Куль (рис. 1). Профиль длиной 91 км пересекает озеро в районе $77,5^\circ$ в.д. Расположение профиля определялось данными выполненных ранее магнитотеллурических зондирований на берегах озера по региональному профилю Барскаун.

Для магнитометрических измерений использованы три магнитометра POS-1,2 производства лаборатории квантовой магнитометрии УГТУ Екатеринбург. Прибор POS относится к классу протонных магнитометров, основанных на явлении прецессии протонов в магнитном поле Земли. В ходе работ два магнитометра использовали в качестве стационарных вариационных станций, синхронно работающих на северном и южном берегах оз. Иссyk-Куль на линии профиля, а третий — для мобильных измерений на сухопутной и акваториальной частях профиля.

Интервал записи на вариационных станциях составлял 3 с. Синхронизация часов этих станций между собой и с рабочим мобильным прибором осуществлялась по часам GPS, что обеспечивало расхождение времени не более 1 с. Данные северной стационарной станции использованы при обработке северных сухопутной и акваторной частей профиля, южной станции — для южных сухопутной и акваторной частей

профиля. Расстояние между вариационными станциями составляло около 60 км, расхождение между измеренными одновременно значениями магнитного поля не превышало 2 нТл, что свидетельствует о незначительном горизонтальном градиенте вариаций за время проведения измерений на акватории.

Измерения на суше выполнены в пешеходном варианте, прибор был запущен в режиме измерения магнитного поля с дискретизацией 3 с, каждому замеру присваивались географические координаты, определенные с помощью GPS. Среднее расстояние между точками наблюдения составляло около 5 м. Всего выполнено 17 км профиля на северном берегу и 21 км на южном берегу озера. Измерения проводились вдоль дорог.

При обработке акваторной части профиля прибор с помощью немагнитных креплений размещали на пластиковом ялике, с которого предварительно были сняты все железные детали конструкции. Ялик буксировало судно «Горизонт» на фале длиной 120 м, чтобы исключить влияние железного корпуса судна на показания магнитометра. Интервал регистрации магнитного поля составлял 3 с, что при скорости буксировки 11 км/ч позволило получить замеры через каждые 10 м. Таким образом, всего на профиле длиной 91 км выполнено более 15 000 измерений, что при обработке данных дало возможность уверенно отбраковывать и осреднять полученные данные.

В ходе обработки использован стандартный граф обработки магнитометрических данных:

1) учет вариаций магнитного поля Земли по данным ближайшей вариационной станции (для акваториального участка профиля данные обрабатывали с использованием каждой магнитовариационной станции, а результат усреднялся). Амплитуда суточного изменения модуля полного вектора магнитного поля во время работ составляла около 30 нТл;

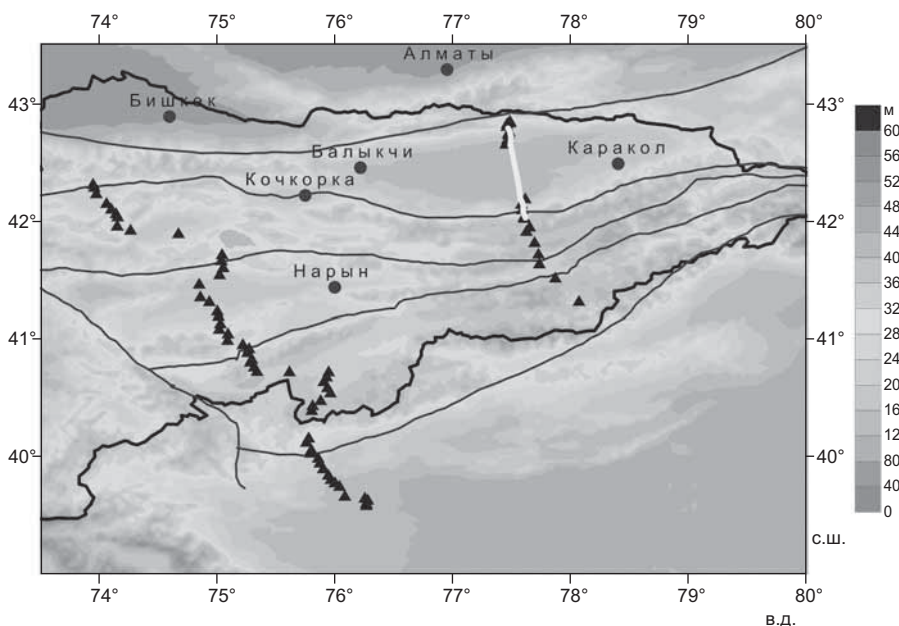


Рис. 1. Карта-схема расположения магнитотеллурических (треугольники) профилей MANAS и Барскаун и магнитометрического профиля (белая линия); черная линия — граница Киргизии, серые линии — основные разломы. Шкала — высота в м, по горизонтали и вертикали — восточная долгота и северная широта соответственно (град.)

2) точность измерений проверена на участке профиля на северном берегу, пройденном повторно. Рассчитанная среднеквадратическая погрешность измерений составила $\pm 1,52$ нТл. Для акваториальной части измерение точности выполнить не удалось из-за того, что невозможно повторно буксировать ялик точно по тому же участку профиля. Однако выявленная при анализе графика «волновая» помеха не превышает 1 нТл, что позволяет ожидать точности не хуже, чем при сухопутных работах;

3) отбраковка аномальных значений магнитного поля, источники которых связаны с антропогенной деятельностью, например аномалий от многочисленных железобетонных мостов в ущельях, столбов ЛЭП, труб и т.д. Поскольку плотность наблюдений была достаточно высокой, подобные аномалии исключали из рассмотрения. Всего исключено не более 4% замеров;

4) сглаживание полученных после отбраковки данных с помощью окна шириной 200 м для подавления аномалий от приповерхностных неоднородностей разреза;

5) расчет элементов нормального земного поля для середины профиля на период работ по данным IGRF11. Здесь интенсивность нормального поля составила 54 700 нТл. При этом на северном конце профиля нормальное поле составило 54 880 нТл, а на южном — 54 560 нТл. Соответственно при вычислении аномального поля использовано кусочно-линейное представление нормального поля (по 40 отрезкам).

График аномального магнитного поля (в предположении кусочно-линейного нормального поля), сглаженного окном шириной 200 м, представлен на рис. 2.

Анализируя характер аномального магнитного поля вдоль профиля (верхняя часть рис. 2), можно отметить следующие особенности: общая амплитуда изменения магнитного поля составляет 300 нТл. На профиле можно выделить несколько зон с разным характером изменений магнитного поля. Центральная

часть профиля (25–65 км) характеризуется слабым изменением градиентов магнитного поля (до 20 нТл/км) и отвечает акваториальной части профиля с глубиной более 200 м. Иное поведение магнитного поля наблюдается в переходной зоне суша—озеро (10–25 и 65–78 км). Эта зона отличается незначительными градиентами магнитного поля (до 50 нТл/км), однако здесь присутствуют локальные аномалии с размерами до 1 км. Третий тип поведения магнитного поля можно отметить на северном и южном окончаниях профиля (0–10 и 78–91 км). Градиенты магнитного поля здесь достигают 300 нТл/км, при этом присутствуют интенсивные локальные аномалии шириной до 2 км.

При анализе поведения низкочастотной компоненты магнитного поля выявлены следующие особенности: в северной и южной частях профиля (горные ущелья) аномальное магнитное поле интенсивно уменьшается от 0 до -200 нТл. Этот эффект может возникать как за счет уменьшения магнитных свойств горных пород в целом, так и за счет влияния магнитных масс, расположенных выше уровня измерений. Так, наибольшее уменьшение магнитного поля (до -300 нТл) наблюдалось на севере, в Григорьевском ущелье, имеющем более отвесные склоны. В центральной части профиля, на акватории оз. Иссык-Куль, выявлена генеральная положительная аномалия, приуроченная к южной глубоководной части озера. Амплитуда аномалии составляет около 200 нТл, а ее ширина достигает 30 км. В более мелководной северной части отмечена отрицательная аномалия амплитудой около 100 нТл, которая может быть краевым минимумом южной положительной аномалии.

Количественную интерпретацию данных проводили с помощью программы Oasis Montaj фирмы «Geosoft» методом подбора с элементами встроенной инверсии в модуле GM-SYS. При подборе учитывали высоту каждой точки наблюдения, азимут профиля, склонение, наклонение и интенсивность нормального

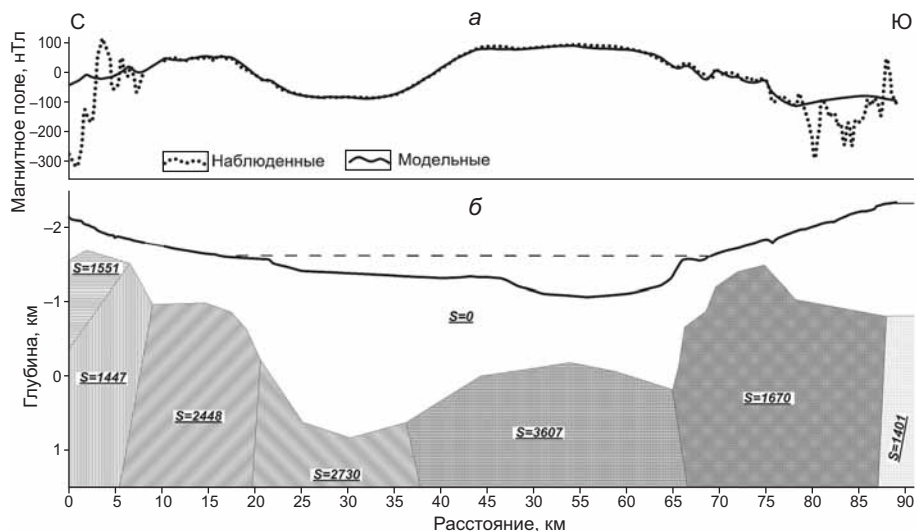


Рис. 2. Магнитная модель участка профиля Барскаун. Вверху — графики наблюдаемых (сглаженных в окне шириной 200 м) и модельных значений аномального магнитного поля, внизу — результат интерпретации данных методом подбора (распределение магнитной восприимчивости S , измеряемой в 10^{-3} ед. СГС). Сплошная линия — рельеф твердой поверхности, пунктирная — уровень воды оз. Иссык-Куль. По горизонтали — расстояние с севера на юг, км

магнитного поля. Верхняя часть разреза была принята немагнитной. Основным объектом для подбора служили низкочастотные аномалии магнитного поля на акватории озера. На первом этапе мы попытались подобрать магнитное поле для минимального числа аномальных тел простой формы, расположенных на большой глубине. В результате не удалось с достаточной точностью аппроксимировать магнитное поле ни полем единственного аномального тела, ни полем двух простых тел.

Итоговый вариант подбора показан на рис. 2 внизу. Положение верхней границы магнитоактивных тел вдоль профиля изменяется от +1000 до -1000 м от абсолютной отметки и имеет существенное заглубление в северной части профиля (до -900 м). При переходе к склонам эта граница приближается к поверхности (до +1500 м). Магнитная восприимчивость (S) слоя максимальна под южной частью озера (до $3600 \cdot 10^{-3}$ ед. СГС) и ослабевает в северном и южном направлениях (до $1500 \cdot 10^{-3}$ ед. СГС).

Отметим, что в 1990-е гг. была проведена детальная аэромагнитная съемка для всей территории Тянь-Шаня и построена карта аномального магнитного поля на абсолютной высоте 5 км. На этой карте в южной части акватории оз. Иссык-Куль и вдоль хр. Терской Алатау в полосе $77-78^\circ$ в.д. также выделяется зона положительного аномального поля магнитной индукции с амплитудой около +100 нТл. Авторы работы [Брагин, Лобанченко, 2005] сделали вывод, что этот участок положительного магнитного поля оконтуривает выходы гранитоидных интрузий позднепалеозойского возраста.

Таким образом, построенная магнитная модель (рис. 2) уточняет результаты аэромагнитной съемки прежде всего для акваториальной части профиля, а также дает полезную априорную информацию для количественной интерпретации магнитотеллурических данных по профилю Барскаун. В качестве таких априорных данных можно использовать вывод о присутствии выходов гранитоидных интрузий в полосе шириной около 30 км вблизи южного борта Иссык-Кульской впадины.

Сглаживающая инверсия магнитотеллурических данных по профилю Барскаун. Магнитотеллурические (МТ) зондирования на региональном профиле Барскаун выполнены ранее сотрудниками Научной станции РАН в Бишкеке. Несколько точек наблюдения расположено на северном и южном берегах оз. Иссык-Куль. Рассмотрим построение геоэлектрического разреза по профилю Барскаун (рис. 3) с помощью сглаживающей 2D-инверсии МТ-данных. Ранее по этому профилю построены блочные 2D геоэлектрические модели [Трапезников и др., 1997; Рыбин, 2001].

Исходными МТ-данными являются оценки компонент тензора импеданса в диапазоне периодов от долей секунды до нескольких тысяч секунд. При инверсии данных по профилю Барскаун использованы

данные с 10 пунктов зондирования. В соответствии с субширотным простиранием структур Тянь-Шаня и субмеридиональной ориентацией профиля для 2D-инверсии были взяты основные компоненты тензора импеданса, связанные с электрическими токами, текущими вдоль и поперек структур. Хотя реальная среда недвухмерная, назовем эти компоненты продольным и поперечным импедансами.

Сглаживающая 2D-инверсия выполнена с помощью программы REBOCC [Siripunvaraporn, Egbert, 2000]. Размеры сетки по горизонтали 80 ячеек, по вертикали 43 ячейки (не считая ячеек в воздухе). Стартовой моделью служило однородное полупространство с сопротивлением 100 Ом·м. Кроме того, в стартовой модели на участке профиля, отвечающего Иссык-Кульской впадине, задавался приповерхностный слой с мощностью 700 м и сопротивлением 100 Ом·м, который имитирует проводящие осадочные породы, заполняющие впадину, и водный слой.

Инверсия выполнялась в трех вариантах — инверсия продольного импеданса, инверсия поперечного импеданса и совместная инверсия двух импедансов. При этом минимальные значения невязки (RMS) и соответствующие номера итераций (NI) составили: RMS=10,5, NI=64 для продольного импеданса; RMS=9,3, NI=53 для поперечного импеданса; RMS=10,9, NI=73 для совместной инверсии. Уровень невязок довольно большой, что, по-видимому, связано с существенными трехмерными искажениями, характерными для горных районов, причем наиболее сильные искажения, как правило, имеют гальванический характер и в большей степени затрудняют инверсию продольного импеданса. Отметим также существенное различие результатов инверсии, полученных с использованием разных компонент МТ-данных. Наиболее вероятным объяснением этого может быть ограниченная применимость 2D-приближения в условиях сильных 3D-эффектов.

Наиболее правдоподобный разрез, характеризующийся наименьшей невязкой, получен по поперечному импедансу (рис. 3). В этом разрезе выделяется глубинная проводящая аномалия, расположенная под северным бортом Иссык-Кульской впадины в диапазоне глубины ~10–30 км. Отметим, что инверсия продольного импеданса не дала такой аномалии, но обеспечила пониженное сопротивление верхней части разреза под озером, особенно вблизи его северного берега. Соответственно в результате совместной инверсии был получен компромиссный вариант результатов инверсии продольного и поперечного импедансов, содержащий приповерхностную и глубинную аномалии.

Выявленная проводящая аномалия связана, вероятно, с трещиноватой зоной, а возможно, и с крупным разломом. Снижение сопротивления при этом связано с флюидонасыщенностью и/или графитизацией этой зоны. Можно ожидать, что она обладает высокой проницаемостью, обеспечивающей

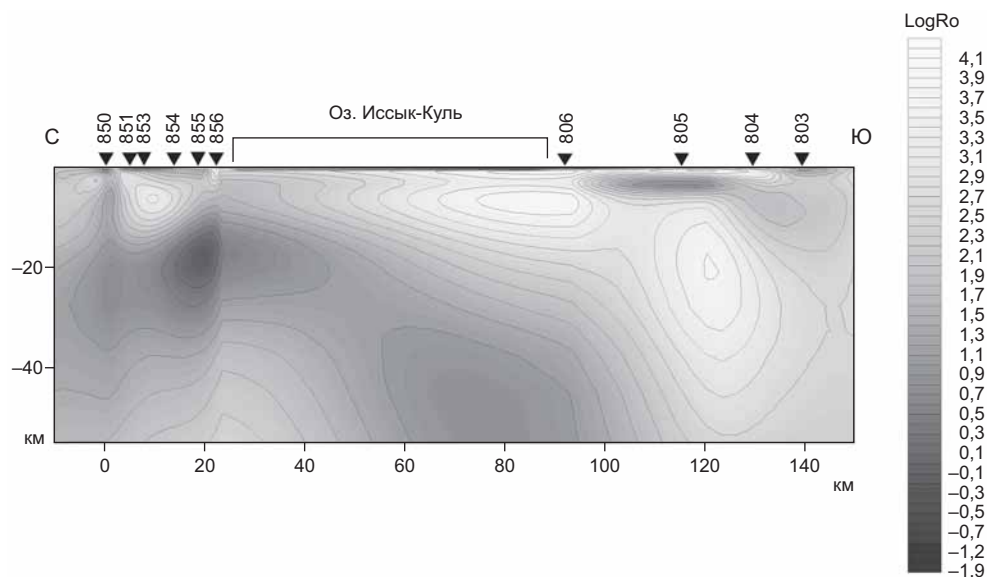


Рис. 3. Геоэлектрический разрез по профилю Барскаун по результатам инверсии поперечного импеданса

аномальный тепломассоперенос, а также смещение разделяемых ею блоков земной коры при разрядке внешних региональных напряжений.

В центральной части профиля на глубине свыше 35 км наблюдается менее яркая проводящая аномалия, однако точек наблюдения над этой аномалией нет, поэтому и надежность ее выявления невелика. Земная кора южного борта Иссык-Кульской впадины обладает высоким сопротивлением. На основании этого можно предположить, что здесь глубинные трещиноватые/разломные зоны отсутствуют.

Обобщение результатов комплексных геофизических исследований для Нарыно-Атбашинской системы межгорных впадин. В рамках концепции тектонической (структурно-геодинамической) расслоенности литосферы продолжительное время развивается представление о том, что существенную роль в формировании крупнейших структурных элементов Тянь-Шаня играют глубинные тектоно-магматические процессы [Макаров, 1977]. При этом принципиально важное место занимают процессы вещественного преобразования и пространственного перераспределения (течения) вещества, происходящие дифференцированно на разных глубинных уровнях литосферы. Примеры решения проблемы геодинамических условий и механизмов формирования новейшей тектонической структуры Тянь-Шаня и признания при этом существенной роли процессов вещественно-структурных преобразований и течения вещества, происходящих на разных глубинных уровнях земной коры и верхней мантии, можно найти в работе [Макаров, 2005] для Центрального Тянь-Шаня и в работах [Леонов, 1993, 2005] для Западного Тянь-Шаня.

Однако в этих концептуальных геодинамических построениях не рассмотрен вопрос взаимосвязи поверхностных и глубинных структур литосферы Тянь-Шаня. В определенной мере ответ на этот вопрос может дать анализ результатов исследований по

комплексному геофизическому трансекту MANAS (рис. 1). По профилю MANAS было выполнено детальное сейсмическое профилирование методом МОВ—ОГТ на участке геотраверса от оз. Сонкель на севере до зоны сочленения Центрального Тянь-Шаня с краевой областью Таримской впадины на юге и построен профильный сейсмический разрез МОВ—ОГТ [Щелочков и др., 2009; Макаров и др., 2010]. По профилю MANAS также проведены детальные МТ-исследования и построена региональная геоэлектрическая модель [Рыбин, 2010, 2011].

Рассмотрим основные характеристики сейсмических и геоэлектрических неоднородностей земной коры и верхней мантии вдоль профиля MANAS с помощью построенного структурно-геодинамического разреза, представленного на рис. 4. Разрез объединяет полученные по геотраверсу MANAS результаты исследований методами сейсмической томографии, МОВ—ОГТ и МТ-зондирования. С позиции региональной расслоенности результаты геоэлектрических съемок в большей мере демонстрируют присутствие горизонтальных (субгоризонтальных) проводящих слоев (пластин) в диапазоне глубины 20–60 км. Отдельно следует рассматривать геоэлектрические структуры в центральной части профиля под Нарыно-Атбашинской системой межгорных впадин, где отмечена сложная картина чередования резко дифференцированных по проводимости вертикальных зон, достигающих корнями подошвы нижней коры. Все указанное согласуется с пестрым рисунком сейсмических неоднородностей в этой части профиля.

В сейсмическом отклике преобладают крутонаклонные границы и зоны, отражающие тонкую структуру распределения неоднородностей в земной коре. При применении метода МТ-зондирования такие неоднородности сглаживаются в получаемом отклике из-за диффузного распространения зондирующего электромагнитного поля в Земле, т.е.

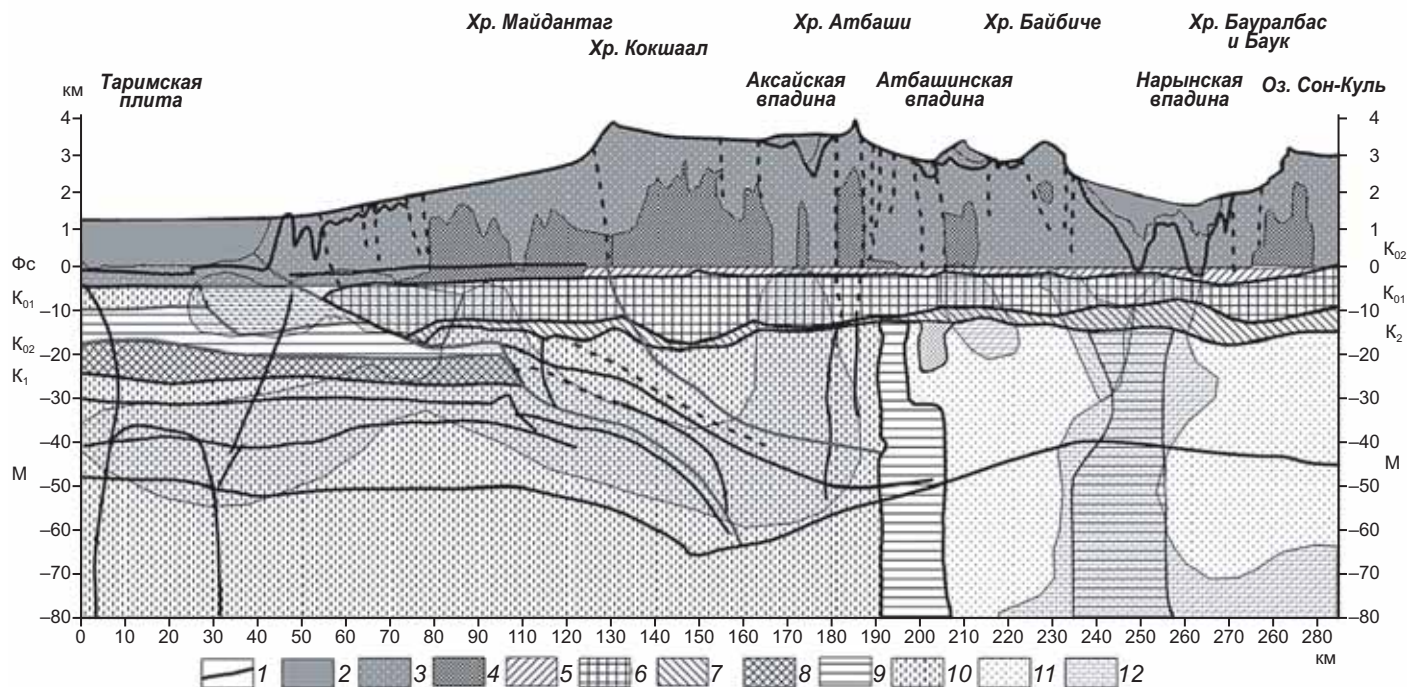


Рис. 4. Структурно-геодинамический разрез литосферы вдоль геотранверса MANAS, по [Макаров и др., 2010] с дополнениями. Вдоль горизонтальной и вертикальной осей — расстояние и глубина, км:

методы МОВ—ОГТ и МТ-зондирования по-разному отражают геометрию структурных особенностей земной коры.

Рассмотрим главный вопрос нашего анализа — взаимосвязь поверхностных и глубинных структур литосферы Центрального Тянь-Шаня. Отметим, что слои, представленные на рис. 4 и отражающие неоднородность распределения сейсмических и электрических свойств разреза, играют существенную роль в реализации тектонических дислокаций, в том числе в формировании субгоризонтальных срывов, которые компенсируют вещественно-структурную, реологическую и геодинамическую дисгармонию поверхностных и глубинных структур в литосфере региона и являются одним из проявлений тектонической расслоенности земной коры Центрального Тянь-Шаня. При этом вертикальная полосчатость сейсмического разреза и субвертикальные проводящие зоны геоэлектрического разреза вдоль профиля MANAS представляют собой ключевые элементы единой геодинамической системы литосферы Центрального Тянь-Шаня.

В этой системе вертикальные границы и слои дают возможность для взаимодействия разных структурных этажей литосферы между собой и обеспечивают процессы объемного перераспределения вещества на разных глубинных уровнях земной коры и верхней мантии региона. Таким образом, вертикальная зональность сейсмического и геоэлектрического разрезов, по крайней мере самые крупные колонны наиболее «мутных» (темных) сред под Аксайской и Нарынской впадинами, а также в Атбаши-Иньльчекской шовной зоне, действительно, имеют естественную природу.

Это отражение областей (каналов) с высокой интенсивностью глубинных флюидно-газовых и тепловых потоков. Можно предположить, что именно они в значительной мере обеспечивают вертикальные перетоки и перераспределение (течение) вещества в слоях литосферы Центрального Тянь-Шаня.

Заключение. Изучены геофизические особенности строения литосферы для двух систем межгорных прогибов Центрального Тянь-Шаня — Иссык-Кульской и Нарыно-Атбашинской впадин. На основе материалов детальных магнитотеллурических, геомагнитных и сейсмических наблюдений последних лет построены профильные геофизические модели, отражающие глубинную структуру литосферы Иссык-Кульской и Нарыно-Атбашинской впадин.

Выполнена магнитометрическая съемка по меридиональному профилю длиной 91 км, пересекающему оз. Иссык-Куль в районе $77,5^\circ$ в.д. Выявлена положительная аномалия магнитного поля с амплитудой около +100 нТл и шириной около 30 км вблизи южного борта Иссык-Кульской впадины. В построенной профильной магнитной модели эту аномалию объясняет присутствие магнитоактивного тела с магнитной восприимчивостью $S=3607 \cdot 10^{-3}$ ед. СГС, расположенного в верхней части разреза. Природа этой положительной магнитной аномалии может быть связана с выходами гранитоидных интрузий позднепалеозойского возраста.

С помощью сглаженной 2D-инверсии построена региональная геоэлектрическая модель по магнитотеллурическому профилю Барскаун, пересекающему центральную часть Иссык-Кульской впадины в меридиональном направлении. Наиболее правдоподобный

геоэлектрический разрез получен в результате инверсии поперечного импеданса. В построенном разрезе выделяется яркая глубинная проводящая аномалия, пространственно приуроченная к северному борту Иссык-Кульской впадины.

Для изучения особенностей строения и динамики Нарыно-Атбашинской системы межгорных впадин сопоставлены ранее полученные результаты исследований методами МТ-зондирования, сейсмической томографии и МОВ—ОГТ по геотраверсу MANAS и построен структурно-геодинамический разрез литосферы для этого профиля. Выявленная горизонтальная и вертикальная слоистая структура в сейсмическом и геоэлектрическом разрезах играет существенную роль в реализации объемных тектонических дислокаций,

которые компенсируют вещественно-структурную, реологическую и геодинамическую дисгармонию поверхностных и глубинных структур в литосфере региона. Это свидетельствует о том, что поверхностные структуры Нарыно-Атбашинской системы межгорных впадин отражены в глубинных сейсмических и геоэлектрических неоднородностях разреза литосферы по геотраверсу MANAS.

Отметим, что сделаны только первые шаги в детальном изучении структурных и геодинамических особенностей систем горных впадин Тянь-Шаня. Мы отчетливо осознаем, что многие аспекты изучения взаимоотношений различных структурных этажей в литосфере депрессионных областей Тянь-Шаня ясны еще не до конца и требуют дальнейшего изучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Брагин В.Д., Лобанченко А.Н.* Магнитное поле // Современная геодинамика областей внутриконтинентального коллизионного горообразования (Центральная Азия). М.: Научный мир, 2005. С. 58–66.
- Леонов М.Г.* Внутренняя подвижность фундамента и тектогенез активизированных платформ // Геотектоника. 1993. № 5. С. 16–33.
- Леонов М.Г.* Альпийский этап в геодинамической эволюции Южного Тянь-Шаня (на примере Гиссаро-Алайской системы) // Современная геодинамика областей внутриконтинентального коллизионного горообразования (Центральная Азия). М.: Научный мир, 2005. С. 327–348.
- Макаров В.И.* Новейшая тектоническая структура Центрального Тянь-Шаня. М.: Наука, 1977. 172 с.
- Макаров В.И.* Новейшая тектоническая структура и кинематика движений. Взаимосвязь Тянь-Шаня с его обрамлением и механизмы внутриконтинентальных горообразовательных процессов // Современная геодинамика областей внутриконтинентального коллизионного горообразования (Центральная Азия). М.: Научный мир, 2005. С. 32–50, 349–367.
- Макаров В.И.* Геодинамические различия неотектонических горных впадин Тянь-Шаня // Геодинамика внутриконтинентальных орогенов и геоэкологические проблемы: Мат-лы 4-го Междунар. симпозиума, Бишкек, 15–20 июня 2008 г. НС РАН, 2008. С. 63–65.
- Макаров В.И., Алексеев Д.В., Баталев В.Ю.* и др. Подвиг Тарима под Тянь-Шань и глубинная структура зоны их сочленения: основные результаты сейсмических исследований по профилю MANAS (Кашгар—Сонкёль) // Геотектоника. 2010. № 2. С. 23–42.
- Макаров В.И., Рыбин А.К., Матюков В.Е.* и др. Особенности глубинной структуры депрессионных областей Центрального Тянь-Шаня // Мат-лы 5-го Междунар. симпозиума «Современные проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов», 19–24 июня 2012 г., Бишкек. М.: Бишкек, 2012. С. 36–45.
- Рыбин А.К.* Глубинные электромагнитные зондирования в центральной части Кыргызского Тянь-Шаня: Автореф. канд. дисс. М.: МГУ, 2001.
- Рыбин А.К.* Магнитотеллурические и сейсмические исследования по трансекту MANAS // Вестн. ВГУ. Сер. Геология. 2010. № 1. С. 218–228.
- Рыбин А.К.* Глубинное строение и современная геодинамика Центрального Тянь-Шаня по результатам магнитотеллурических зондирований. М.: Научный мир, 2011. 272 с.
- Трапезников Ю.А., Андреева Е.В., Баталев В.Ю.* и др. Магнитотеллурические зондирования в горах Кыргызского Тянь-Шаня // Физика Земли. 1997. № 1. С. 3–20.
- Щелочков Г.Г., Брагин В.Д., Рыбин А.К.* и др. Трансект MANAS: Первые результаты обработки и интерпретации данных сейсмических зондирований Центрального Тянь-Шаня // Мат-лы 4-го Междунар. симпозиума «Геодинамика внутриконтинентальных орогенов и геоэкологические проблемы». М.: Бишкек, 2009. С. 59–67.
- Siripunvaraporn W., Egbert G.* An efficient data-subspace inversion method for 2-D magnetotelluric data // Geophysics. 2000. Vol. 65, N 3. P. 791–803.

Поступила в редакцию
22.05.2014