

Матюков В.Е.

**НОВЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ О ГЛУБИННОЙ СТРУКТУРЕ ЗОНЫ
СОЧЛЕНЕНИЯ ПАМИРА И ТЯНЬ-ШАНЯ**

V.E. Matiukov

**NEW GEOPHYSICAL DATA ABOUT DEEP STRUCTURE OF PAMIR - TIEN SHAN
CONNECTION ZONE**

УДК:550.8.053+551.24

Представлены результаты геофизических (магнитотеллурических и магнитовариационных) зондирований на участке профиля «TIPAGE» и построена двумерная геоэлектрическая модель «ALAI-TIPAGE», дополняющая имеющиеся геолого-геофизические представления о глубинном строении зоны сочленения Памира и Тянь-Шаня.

Results of geophysical (magnetotellurics and magnetovariational) soundings on a part of «TIPAGE» profile are presented and the two-dimensional geoelectrical model «ALAI-TIPAGE», complementary available geologo-geophysical representations about a deep construction of a Pamir and Tian-Shan connection zone is constructed.

Современная глубинная структура зоны сочленения Памира и Тянь-Шаня, в том числе Алайской впадины, представляет огромный интерес для исследователей из разных стран. Результаты обработки и интерпретации полевых материалов глубинных геофизических исследований на базе методов магнитотеллурического (МТ) и магнитотвариационного (МВ) зондирований для части профиля «TIPAGE», расположенного в субмеридиональной полосе 73,2° - 73,6° в.д. на участке: оз. Кара-Куль - северный склон Алайского хребта, рассматриваются и обсуждаются в данной статье.

Геологическая изученность зоны сочленения Памира и Тянь-Шаня

Алайская впадина - широтная миндалевидная топографическая депрессия, расположенная на южной окраине Евразии, является частью ранее существовавшей мезозойско-раннекайнозойской Афгано-Кашгарской впадины, которая соединяла Таджикскую депрессию на западе с Таримским бассейном на востоке [1].

Алайская межгорная впадина, находится на стыке Памира и Тянь-Шаня [2] и представляет собой грабен-мегасинклиналь асимметричного строения (рис. 1). Северное ее крыло пологое, с нормальным залеганием пород мезозойско-кайнозойского покрова на денудированной поверхности палеозойских пород Алайского хребта, а крутое южное крыло заканчивается серией надвиговых нарушений, составляющих зону Северо-Памирского глубинного разлома. На границе Алайского хребта и впадины, неогеновые и четвертичные грубообломочные породы, относимые к молассовой формации, имеют относительно небольшую мощность, в то время как в предгорьях Заалайского хребта мощность их порядка 3500 м. На крутом южном крыле структуры палеоген-неогеновые отложения сложно дислоцированы и разорваны многочисленными чешуйчатыми надвигами Вахшского разлома (IX-XX, рис. 1).

Садыбакасовым И.С. [2] было показано, что главные тектонические движения в Алайской впадине произошли вследствие действия горизонтальных сил, направленных с юга на север, а эти тектонические напряжения, приуроченные к северной фронтальной структуре Памира - Заалайской мегантиклинали (рис. 1), обусловили процесс воздымания южной части бывшей области прогибания Алайской впадины, образуя зоны предгорий шириной - до 28 км. В зоне предгорий на северном крыле Заалайской мегантиклинали [2] отложения мезозойско-кайнозойского покрова поднялись на высоту более 5000 м. Это и стало причиной того, что днище Алайской впадины оказалось покатым с юга на север и русло широтно текущей р. Кызыл-су смещено и прижато к северному борту впадины.

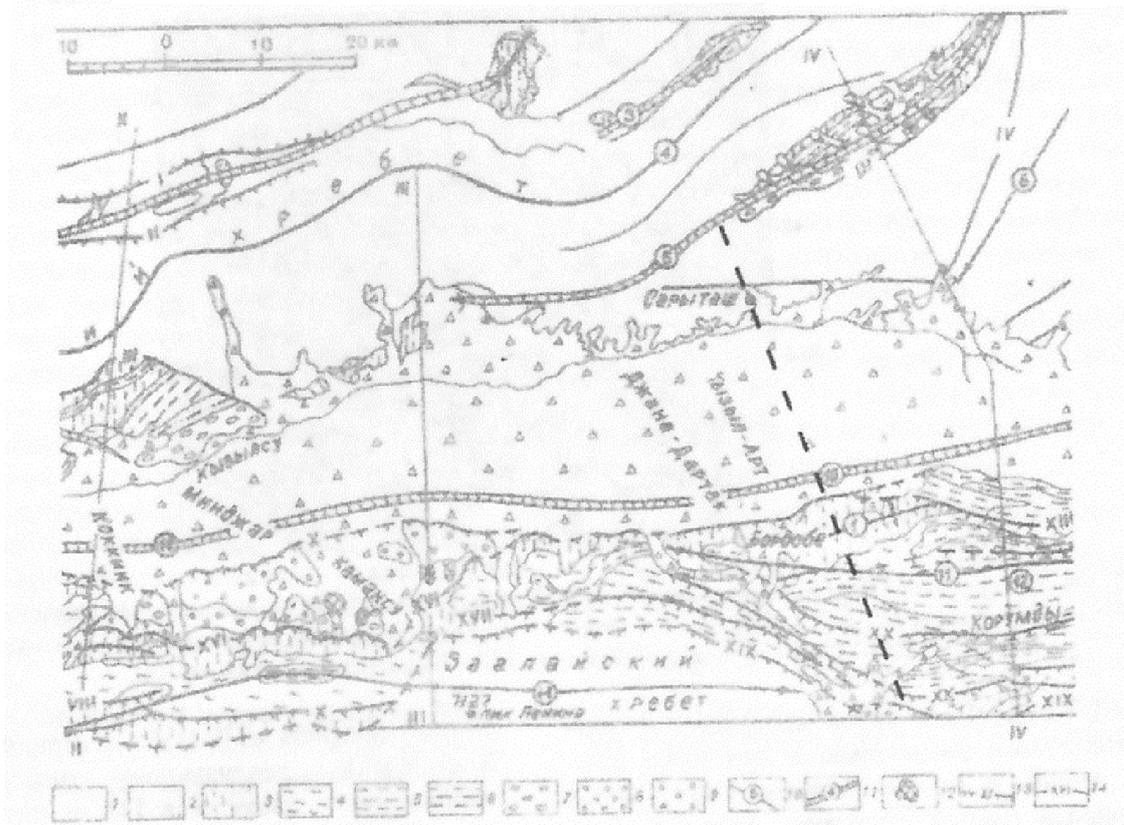


Рис. 1. Геолого-тектоническая карта Алайской депрессии по [2]:

1 - палеозойские породы; 2 - юрские отложения (песчаники, сланцы); 3 - нижнемеловые отложения (сланцы, песчаники, конгломераты); 4 - верхнемеловые отложения (глины, мергели, гипсы, песчаники, известняки); 5 - морские осадки нижнего и среднего палеогена (песчаники, известняки, глины); 6 - массагетская свита (красноцветные конгломераты, песчаники, глины); 7, 8 - неогеновые отложения (валунники, галечники); 9 - четвертичные отложения (галечники, валунники); 10 - оси мегантиклиналей: 1 - Кичик-Алайской, 4 - Алайской, 6 - Терекдаванской, 8 - Теректоуской, 13 - Сорбулакской, 14 - Заалайской; 11 - оси мегасинклиналей: - Кичик-Алайской; 3 - Чалкуйрукской, 5 - Гульчинской, 7 - Терекской, 11 - Коксуиско-Кызылэшминской; 12 - Заалайский аллохтон (нижнемеловые отложения); 13 - надвиги: I - Северо-Кичик-Алайский, II - Южно-Кичик-Алайский, III - Гульчинский, VIII - Северо-Нурунский, IX - Южно-Нурунский, X - Предзаалайский, XI - Кызыл-Суйский; 14 - прочие разломы. Пунктирной линией показан участок МТ-профиля TIRAGE

Садыбакасовым И.С. в работе [2] также отмечено, что структуры широтного простирания северо-восточной части Алайской впадины расположены дискордантно по отношению к тянь-шаньским структурам северо-восточного направления (6-8). Палеозойский фундамент сложен породами герцинского сооружения Южного Тянь-Шаня, обнажающихся в восточной части Алайской впадины, что является доказательством значительных горизонтальных перекрытий по Вахшскому надвигу.

Магнитотеллурические и магнитовариационные зондирования по профилю «TIRAGE»

В 2008 и 2009 гг. силами Научной станции РАН (г. Бишкек) и Центра Наук о Земле (г. Потсдам) в рамках мульти-дисциплинарной программы изучения зоны сочленения Памира и Тянь-Шаня были выполнены магнитотеллурические (МТ) и магнитовариационные (МВ) зондирования вдоль профиля «TIRAGE» длиной около 350 км от Афгано-

Таджикской границы на юге через Памирское Плато, Алайскую впадину и Южно-Тянь-Шанскую горную гряду до г. Ош на территории Кыргызстана. В данной работе рассматриваются результаты глубоких электромагнитных зондирований на участке профиля от оз. Кара-Куль до Алайского хребта (Рис. 2).

Для измерений компонент магнитотеллурического поля использовались рядовые широкодиапазонные станции GIPP [3] (1000 Гц - 1000 с) с индукционными датчиками магнитного поля и длиннопериодные станции LEMI-004 (периоды до 10000 с) с феррозондовыми магнитометрами.

Измерительная установка состоит из двух взаимно перпендикулярных измерительных линий (диполей), являющихся датчиками электрического поля E_x и E_y . Длина измерительных линий в условиях горного рельефа Тянь-Шаня составляет 30-50м. Заземление электрических диполей осуществляется с помощью электродов.

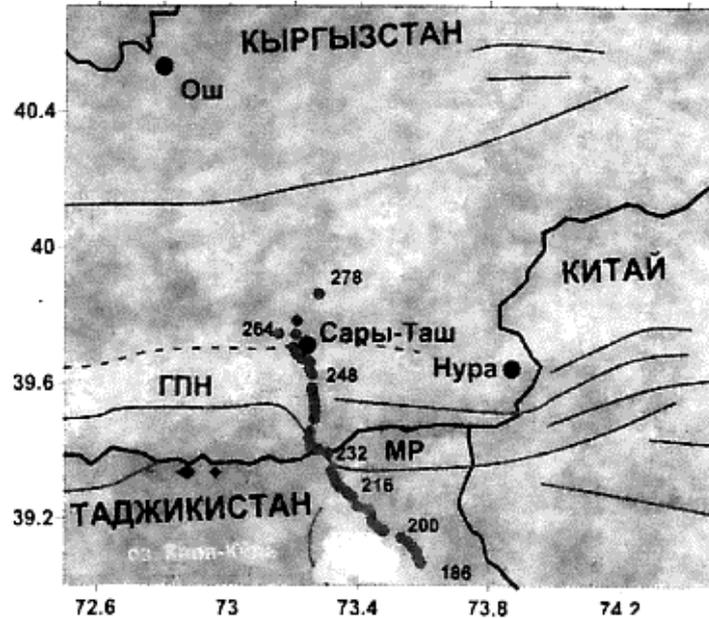


Рис. 2. Участок профиля TIR AGE, пересекающий Заалайский хребет, Алайскую впадину и Алайский хребет. Красными кружками отмечены пункты МТ-МВ зондирования, синими - населенные пункты, красными линиями - крупные разломы: ГПН - Главный памирский надвиг, МР - Маркансуйский разлом.

В точке наблюдения схема измерений использует крестообразное расположение приемных электрических линий. В центре установки заземляется дополнительный (пятый) электрод, который участвует в особой схеме подавления помех. Рядом с ним располагается измеритель.

Запись ведется в трех частотных диапазонах. Высокочастотная часть записывается с помощью регистратора SPAM III в диапазоне ~ 1000 Гц - 0.01 с. Поэтому записи поля в этих диапазонах состоят из отдельных фрагментов.

Сложные геоэлектрические условия горного Тянь-Шаня потребовали внесения корректив в штатную методику обработки полевых наблюдений и своего оригинального подхода к разработке методики построения глубинной модели.

Для обработки данных, полученных станциями GIPP, использовался стандартный пакет программ обработки EMERALD, разработанный специалистами Центра Наук о Земле (г. Потсдам). Программа обработки основана на расчете функции взаимной корреляции всех компонент поля. Далее проводится Фурье-преобразование, в результате чего получаются спектры мощности в широком частотном диапазоне, которые затем пересчитываются в компоненты тензора импеданса.

Программный комплекс обработки данных MT3-MB3, полученных в регионе с помощью оборудования GIPP, включает в себя стандартную для этой аппаратуры обработку в режимах "local" и "remote reference", реализующую современные алгоритмы спектрального анализа.

Построение двумерной геоэлектрической модели «ALAI-TIPAGE»

Дальнейшие исследования связаны с выполнением двумерной (2-D) инверсии наблюдаемых данных профиля «TIPAGE» с помощью программы

Rodi-Mackie, реализующей метод нелинейных сопряженных градиентов [4], и построением двумерной геоэлектрической модели «ALAI-TIPAGE», представляющей собой структурно-геоэлектрический разрез земной коры в зоне сочленения Памира и Тянь-Шаня вдоль меридиана 73,4 градуса в.д.

Входной ансамбль инвертируемых данных включал в себя наблюдаемые значения кажущегося сопротивления и фазы импеданса для двух поляризацій электромагнитного поля, а также значения геомагнитного типпера в (Re, Im) представлении, заданные в 46 точках на профиле длиной около 100 км для 30 периодов зондирования в интервале от 1000 Гц до 2000 с.

Сеточная аппроксимация модели имеет 127 горизонтальных узлов и 224 слоя с латеральными изменениями по размеру меньшими, чем коэффициент 1.07 между любыми соседними ячейками, для того, чтобы удовлетворить ограничениям программы 2D инверсии. Большинство слоев предназначены для адекватного представления в модели топографического рельефа, изменения высот которого вдоль линии профиля, составляют около 1.5 км. 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 $\tau=1.0$.

Пределы погрешностей (весовые коэффициенты) инвертируемых данных были установлены следующим образом: модуль кажущегося сопротивления (TE-мода) - 30%, модуль кажущегося сопротивления (TM-мода) - 30%, фаза импеданса (TE-мода) - 5°, фаза импеданса (TM-мода) - 5°, типпер - 0.1%.

Стартовая модель для 2-D инверсии представляет собой однородную среду 100 Ом-м до

глубин 100 км, ниже распределение сопротивления - горизонтально-слоистое. Следует отметить, что плотность и геометрия сеточной аппроксимации в процедуре автоматизированной инверсии, а также включение всех ячеек разбиения в оптимизационный подбор обеспечивают плавность построения геоэлектрических структур, и отсутствие ограничений для различных гипотез о глубинном строении региона исследования. Далее была выполнена совместная бимодальная 2-D инверсия многокомпонентного ансамбля данных, включающего амплитуды кажущегося сопротивления, фазы импеданса и типперы, для профиля «TIPAGE».

В результате выполненных 300 внутренних итераций в процессе совместной параллельной инверсии всего входного ансамбля данных погрешность подбора по всем компонентам (RMS-невязка) составила 1.87.

В моделях, возбуждаемых электрическим полем, поляризованным в крест оси геоэлектрической однородности (ТМ-мода), МТ передаточные функции для

большинства узлов сетки имеют невязки не превышающие 20% по модулю и 6° по фазе. Для моделей, возбуждаемых электрическим полем, поляризованным вдоль оси геоэлектрической однородности (ТЕ-мода), МТ передаточные функции имеют более высокие невязки прежде всего из-за того, что выбранные весовые коэффициенты для этой моды значительно превышают предел погрешности ТМ-моды. В модели получены небольшие величины МВ передаточной функции (типперов), которые хорошо согласуются с малыми значениями (< 0.1) экспериментальных данных, но ошибки достаточно велики из-за низкого отношения «сигнал-шум» в исходных данных.

Обсуждение результатов

В построенной геоэлектрической модели «ALAI-TIPAGE» (рис. 3) можно выявить несколько субертикальных проводящих зон под Алайской впадиной до глубины 5-10 км, которые могут соответствовать погребенным массивам осадочного чехла, показанным в работе [5] на рисунке 7.

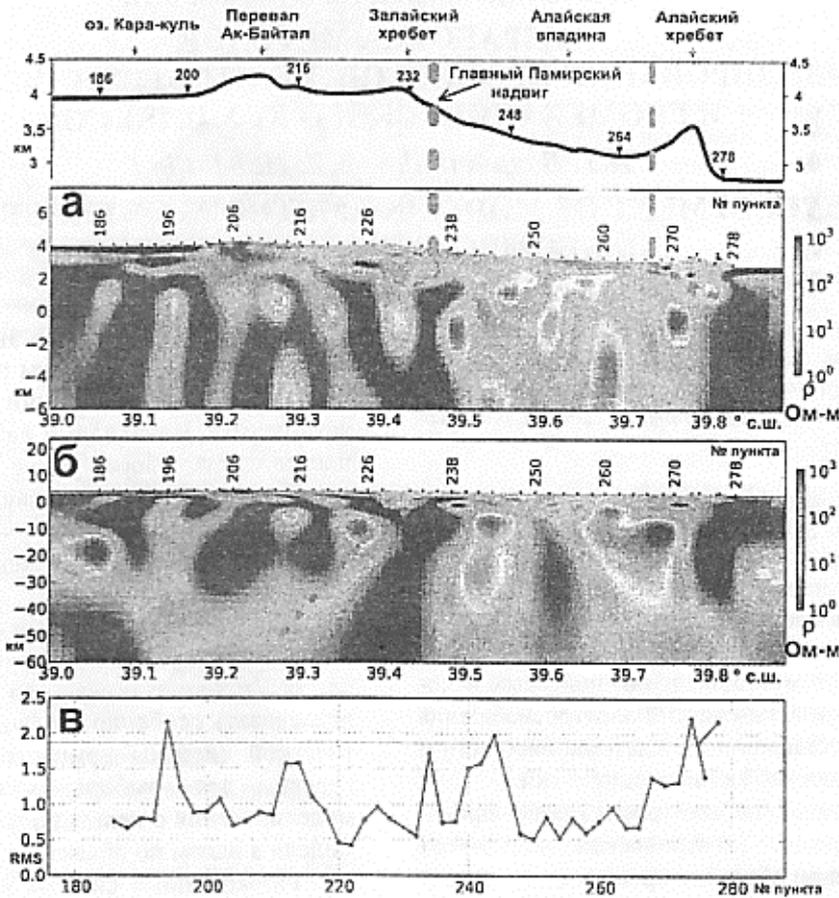


Рис. 3. Двумерная геоэлектрическая модель «ALAI-TIPAGE» (участок профиля «TIPAGE» от оз. Кара-Куль до Алайского хребта), а - верхняя часть разреза, б - полный разрез, в - распределение погрешности подбора данных по всем инвертируемым компонентам (RMS-невязка) для пунктов профиля. Зона выделенная эллипсом описана в тексте.

Также выделяется проводящая зона под Заалайским хребтом соответствующая Главному памирскому надвигу (рис. 3б). В верхней части разреза на глубинах 2-4 км линия разлома изгибается уступообразно (рис. 2), при этом, тело разлома ориентировано вдоль линии профиля, что отражается в виде

протяженной проводящей зоны, показанной на рисунке 3 эллипсом.

Исследования, представленные в статье, частично выполнялись при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 11-05-00840а, 12-05-10042к) и Министер-

ства образования и науки РФ (Соглашение № 8670). Автор выражает искреннюю благодарность А.К.Рыбину, В.Ю. Баталеву, Е.А. Баталевой, а также коллегам из Центра Наук о Земле (г. Потсдам) O. Ritter, G. Munoz и P. Sass за помощь и ценные советы на всех этапах исследований.

Литература:

1. Burtman V. S. Cenozoic crustal shortening between the Pamir and Tien Shan and a reconstruction of the Pamir-Tien Shan transition zone for the Cretaceous and Paleogene, *Tectonophysics*. 2000. 319. P. 69 - 92.
2. Садыбакасов И. С. Неотектоника Высокой Азии. М.: Наука. 1990. 180 с.
3. [http://www.gfzpotdam.de/portal/gfz/Struktur/Departments/Department+2/sec22/gipp/instruments/GIPP MT](http://www.gfzpotdam.de/portal/gfz/Struktur/Departments/Department+2/sec22/gipp/instruments/GIPP%20MT)
4. Rodi, W. L., and Mackie R. L. Nonlinear conjugate gradients algorithm for 2-D magnetotelluric inversion, *Geophysics*. 2001. v 66. P. 174 - 187.
5. Coutand I., Strecker M. R., Arrowsmith J. R., Hilley G., Thiede R. C., Korjenkov A. and Omuraliev M. Late Cenozoic tectonic development of the intramontane Alai Valley, (Pamir-Tien Shan region, central Asia): An example of intracontinental deformation due to the Indo-Eurasia collision *TECTONICS*. 2002. VOL. 21. NO. 6. 1053. doi:10.1029-/2002TC001358.

Рецензент: д.ф.-м.н. Погребной В.Н.