

МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИЕ И СЕЙСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ТРАНСЕКТУ MANAS (ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ТЯНЬ-ШАНЬ)

А. К. Рыбин

Учреждение Российской академии наук Научная станция Российской академии наук в г. Бишкеке,
Бишкек, Киргизстан

Поступила в редакцию 17 февраля 2010 г.

Аннотация. Выполнены магнитотеллурические и сейсмические исследования вдоль трансекта MANAS, который пересекает в южном направлении территорию Центрального Тянь-Шаня в полосе меридиана 75–76° в. д. от города Бишкека в Киргизии до китайского города Кашгара. С помощью профильных магнитотеллурических (МТ) наблюдений построена двумерная геоэлектрическая модель исследуемого региона. Рассмотрены выполненные ранее результаты предварительной обработки первичных сейсмических материалов МОВ-ОГТ, МОВЗ и сейсмотомографии. Сопоставлены полученные геоэлектрический и комплексный сейсмический разрезы. Оба разреза определяют сложную гетерогенную структуру литосферы вдоль линии трансекта, отражающую как горизонтальную расслоенность земной коры, так и пересечение горизонтально-слоистой среды вертикальными и наклонными деструктивными зонами.

Ключевые слова: Тянь-Шань, МТЗ, распределение электропроводности, сейсмические зондирования.

Abstract. Magnetotelluric and seismic profiling were carried out along the transect MANAS that crossing the Central Tien Shan area in a southern direction in the meridional lane of longitude 75–76E degrees from the Bishkek city in Kyrgyzstan to the Kashgar city in China. The regional 2D geoelectric model was constructed with the help of profiling magnetotelluric data. The preliminary processing results of the raw seismic data on the CMP reflection method, receiver function technique and seismic tomography were considered. The constructed geoelectric and complex seismic cross-sections were compared. They determine complicated heterogeneous structure of the lithosphere along transect line reflecting both the horizontal layering of the Earth's crust and crossing of the horizontal-stratified medium with vertical and inclined destructive zones.

Key words: Tien-Shan, magnetotelluric sounding, distribution of electric conductivity, seismic survey

Введение

В 2005–2008 гг. совместными усилиями российских, американских (США), киргизских и китайских организаций и специалистов в рамках международной программы «Геодинамика Тянь-Шаня» был осуществлен комплекс совместных и скоординированных геофизических работ по трансекту MANAS (Middle AsiaN Active Seismic profiling) [1]. Он проходит от г. Бишкека в Киргизии до района г. Кашгара в Китае в коридоре меридианов 75–76,5° в. д. и по широте охватывает диапазон 39–42,4° с. ш. (рис. 1). Отметим, что северное окончание сейсмического профиля расположено в районе озера Сонкель, в то время как магнитотеллурический профиль продолжен дальше на север и заканчивается вблизи г. Бишкека. Основной целью трансекта является детальное изучение глубинно-

го строения земной коры и верхов мантии Центрального Тянь-Шаня и зоны его сочленения с Таримской платформой.

В данной статье осуществлена первая попытка совместного анализа результатов интерпретации магнитотеллурических и сейсмических зондирований трансекта MANAS.

Геоэлектрическая структура профиля MANAS

На рис. 1 показано расположение пунктов наблюдений МТ профиля вдоль линии трансекта. Основной участок выполненного МТ профиля находится на территории Киргизии, его длина – 240 км, южный участок профиля на территории Китая имеет длину 65 км.

В первую очередь рассмотрим результаты МТ исследований в киргизской части трансекта: от границы Киргизии с Китаем на юге до Киргизского хребта на севере (рис. 1). Здесь полевые зондирования были выполнены сотрудниками

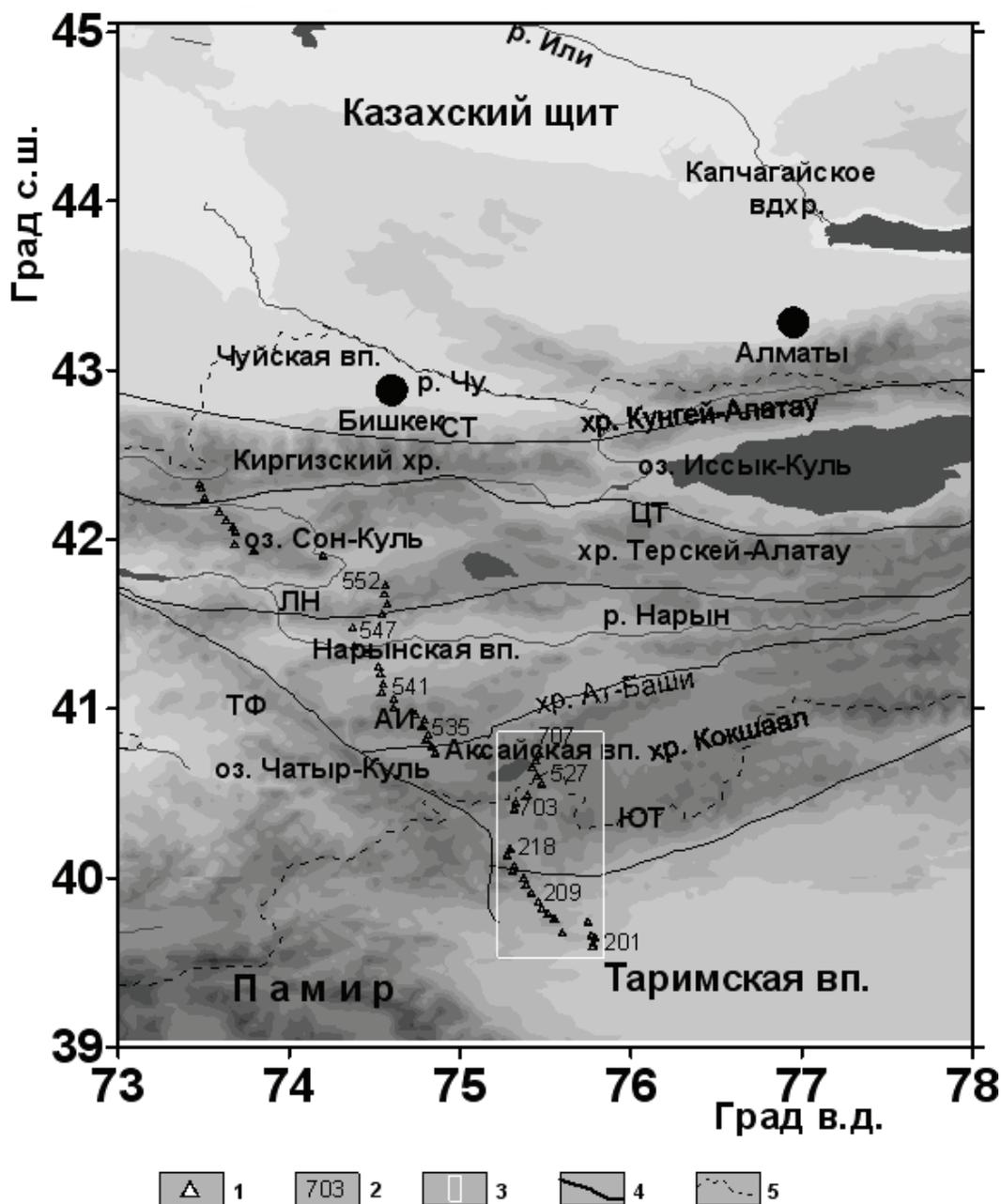


Рис. 1. Карта-схема расположения пунктов МТ зондирования вдоль геофизического трансекта MANAS: 1 – пункт МТ зондирования; 2 – номер пункта МТЗ; 3 – участок детализационных зондирований Аксай-Атуш; 4 – основные разломы: СТ – Северо-Тянь-Шаньский, ЦТ – Центрально-Терскойский, ЛН – Линия Николаева, АИ – Ат-баши-Инильчекский, ТФ – Таласо-Ферганский, ЮТ – Южно-Тянь-Шаньский; 5 – граница Киргизстана

Научной станции РАН в г. Бишкеке совместно с американскими геофизиками из Калифорнийского университета в Риверсайде с помощью измерительных систем МТ-24 (ЭМИ, США) и МТУ-5 (Феникс, Канада), средний шаг между пунктами зондирования составил 5–6 км. Ориентация измерительной установки МТЗ выполнялась по азимутам 0° и 90°, что в системе географических координат соответствует широтному и меридиональ-

ному направлению. Эти азимуты близки к направлениям простирания главных тектонических структур в регионе исследования. При этом предусматривалась дальнейшая возможность пересчета измеренных данных МТЗ на азимут простирания основных структур на исследуемой территории и определения продольных и поперечных направлений, необходимых для двумерной инверсии данных.

Данные полевых зондирований обработаны программными средствами, реализующими современные алгоритмы спектрального анализа и входящими в штатный состав измерительной аппаратуры, в режимах “local” и “remote reference”. Полученные в результате обработки кривые модуля кажущегося сопротивления и фазы импеданса приведены на рис. 2, 3.

Начальный анализ искажений наблюдаемых кривых проведен с помощью метода полярных диаграмм [2]. Полученное хаотичное поведение амплитудных диаграмм главных элементов тензора импеданса практически для всего интервала периодов зондирования говорит о сильном влиянии приповерхностных неоднородностей, создающих случайный геологический шум. На рис. 3 показаны

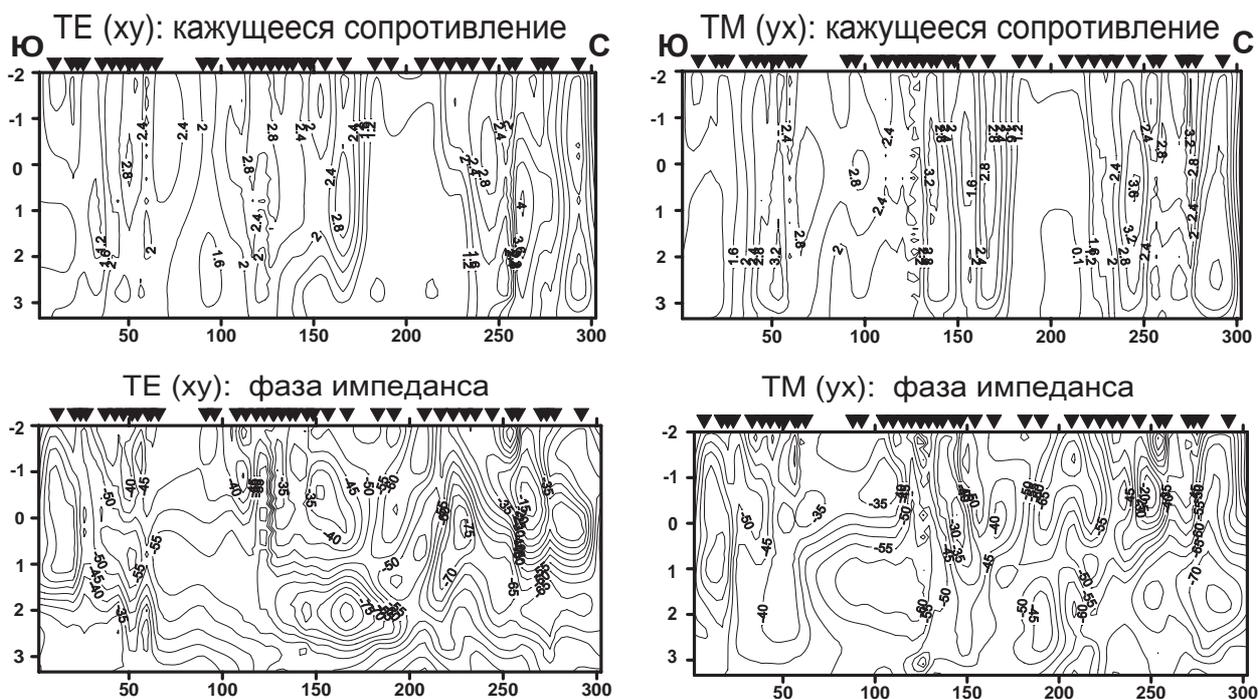


Рис. 2. Псевдоразрезы десятичного логарифма модуля кажущегося сопротивления (Ом-м) и фазы импеданса (градусы). Горизонтальная ось – расстояние вдоль профиля (км), вертикальная ось – десятичный логарифм периода (с). В верхней части каждой секции треугольниками показаны пункты МТЗ

главные направления тензора импеданса, определенные с помощью разложения Бара, которое позволяет погасить влияние локальных трехмерных неоднородностей [3]. Азимуты главных направлений тяготеют к субширотной ориентации для низкочастотного интервала периодов. Согласно этим результатам мы можем 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 выполнением параметризации экспериментального импеданса и анализом

полученных распределений магнитотеллурических параметров неоднородности и асимметрии.

Параметризация импеданса – это определение параметров неоднородности и асимметрии: параметра неоднородности (N) [2], углового параметра асимметрии (A) [4], амплитудного параметра асимметрии ($Skew_s$) [5] и фазочувствительного параметра асимметрии ($Skew_b$) [3]. С их помощью оценивается степень горизонтальной неоднородности среды и локализуются выделяемые структуры. В результате анализа частотных распределений этих параметров по профилю предположение о суперпозиции локальных трехмерных структур с региональной двумерной получило дополнительное подтверждение.

Двумерная инверсия МТ данных по профилю MANAS. Для двумерной (2D) инверсии наблюдаемых данных использовалась программа Rodi –

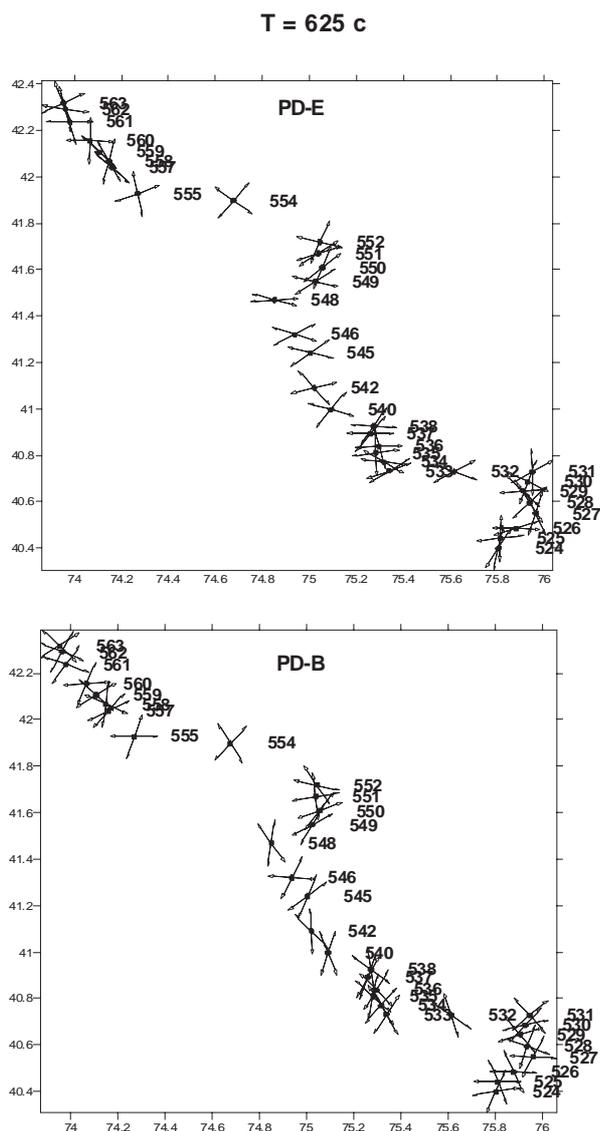


Рис. 3. Главные направления тензора импеданса для периода $T = 625$ с, определенные методом ортогонализации Эггерса (PD-E) и с помощью разложения Бара (PD-B)

Maskie [6]. Входной ансамбль инвертируемых данных включал в себя скорректированные значения кажущегося сопротивления и фазы импеданса для двух поляризаций ЭМ поля, заданные в 32 точках на профиле длиной около 220 км для 22 периодов в интервале от 0,01 до 2200 с.

Сеточная аппроксимация модели имеет 170 горизонтальных и 48 вертикальных ячеек с латеральными изменениями, по размеру меньшими, чем коэффициент 1,5 между любыми соседними ячейками для того, чтобы удовлетворить ограничениям программы 2D-инверсии. После нескольких тестовых расчетов инверсии было определено значение параметра регуляризации $\tau = 3,0$.

В результате выполненных 110 внутренних итераций в процессе совместной параллельной инверсии всего входного ансамбля погрешность подбора данных по всем компонентам (RMS-невязка) составила 2,78. Результирующая модель MT профиля по трансекту MANAS представлена на рис. 4. Невязки между модельными и экспериментальными данными показаны на рис. 5.

Сейсмические исследования по трансекту MANAS и получение комплексного сейсмического разреза

Сейсмический профиль MANAS ($39-42^\circ$ с. ш., $75-76^\circ$ в. д.) является геотраверсом нового поколения, основанным на многоволновых сейсмических наблюдениях с использованием взрывных источников по системе многократных перекрытий МОБ-ОГТ. Расположение профиля MANAS показано на рис. 6. Общая длина сейсмического профиля MANAS составила 367 км, киргизская часть профиля – 267 км (рис. 6). Максимальное удаление от источника 50 км, шаг между источниками 1 км и приемниками 100 м. Дополнительно с помощью широкополосных сейсмических станций, установленных вдоль линии профиля, осуществлялись сейсмические просвечивания с использованием естественных источников (землетрясений).

Рассмотрим кратко результаты первичной обработки сейсмических данных с составлением глубинных разрезов литосферы [7].

Исходные данные. Сейсмический разрез основан на многоволновых сейсмических наблюдениях с использованием взрывных источников по системе многократных перекрытий МОБ-ОГТ. Из-за особенностей горного рельефа и существующей дорожной сети линия сейсмического профиля характеризуется большой искривленностью, что в значительной мере затрудняло процесс обработки. Кроме того, он прерван на переходе через р. Нарын и в приводораздельных частях хр. Атбаши и южного склона хр. Кокшаалтау. Таким образом, профиль подразделен на три участка (см. рис. 6). На центральном участке (между р. Нарын и водоразделом Кокшаалтау) (Б-Г на рис. 6) получено 188 сейсмограмм, на северном участке (между р. Нарын и оз. Сонкель) (Д на рис. 6) – 21 сейсмограмма, на южном участке (южный склон Тянь-Шаня с прилегающей частью Тарима) (А на рис. 6) – 467 сейсмограмм. Общая длина профиля составляет 340 км. Длина сейсмической записи на участках Б-Д составляла 90 с, на участке А – 20 с с дискретностью 4 мс. Количество трасс в одной сейсмо-

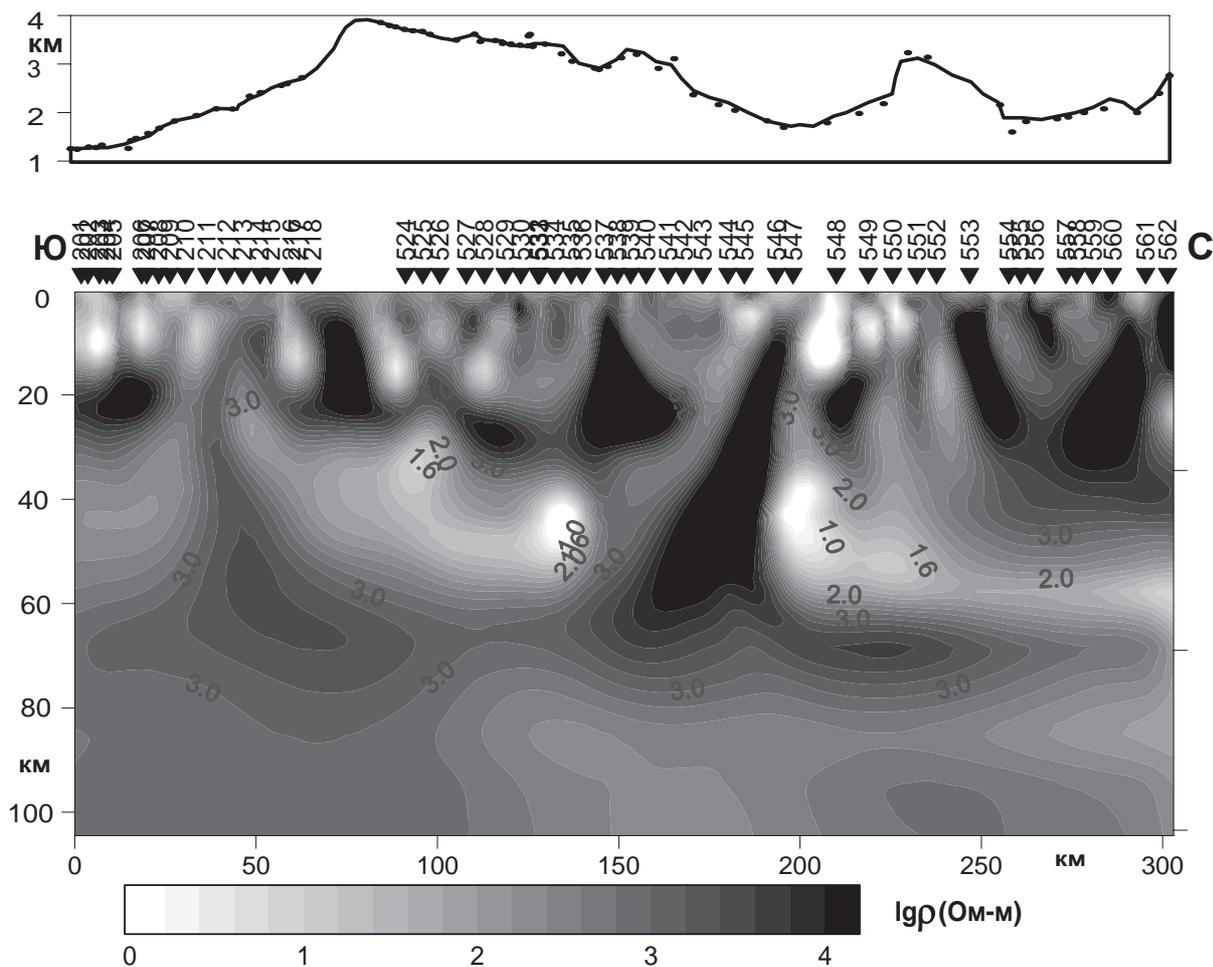


Рис. 4. Геоэлектрический разрез вдоль профиля MANAS, построенный с помощью программы двумерной инверсии Rodi – Mackie. Получен как результат совместной бимодальной инверсии всех компонент тензора импеданса (модули/фазы) и типпера (Re/Im). В верхней части рисунка показаны номера пунктов МТЗ и схема рельефа профиля

грамме изменялось от 240 до 1000. Среднее расстояние между пунктами возбуждения (взрывов) составляло 1 км, между пунктами приема – 100 м. Регистрация производилась с использованием автономных высокочувствительных сейсмоприемников модели TEXAN 125A (производитель REFTEK, США). Исправность сейсмоприемников контролировалась специалистами из корпорации “PASS-CAL” (США). Методика профильных сейсмических работ в целом соответствовала стандартному варианту, но с уточнением параметров взрывов, необходимым из-за вариаций геологического строения. Дополнительно с помощью широкополосных сейсмических станций, установленных вдоль линии профиля, осуществлялось сейсмическое просвечивание с использованием естественных источников (землетрясений). Наблюдения на длинной базе и высокая кратность (25–300) обеспечили

возможность обработки материалов методами МОВ-ОГТ (МОГТ) и сейсмотомографии.

Построение комплексного сейсмического разреза по данным МОВ-ОГТ и сейсмотомографии. Первичная обработка сейсмических материалов, полученных по трансекту MANAS, осуществлялась специалистами ФГУНПП Северморгео МПР РФ под руководством А. Д. Павленкина и Ю. В. Рослова [8]. Обработка отраженных волн производилась с помощью пакета Focus 5.4.

Восстановление скоростных параметров среды методом сейсмической томографии позволило построить скоростную модель верхней части разреза и выполнить коррекцию статики при обработке материалов методом МОГТ. Для этих целей использовались пакет программ сейсмической томографии FIRSTOMO и система томографической обработки XТомо. Пикирование годографов первых волн было выполнено в пакете программ

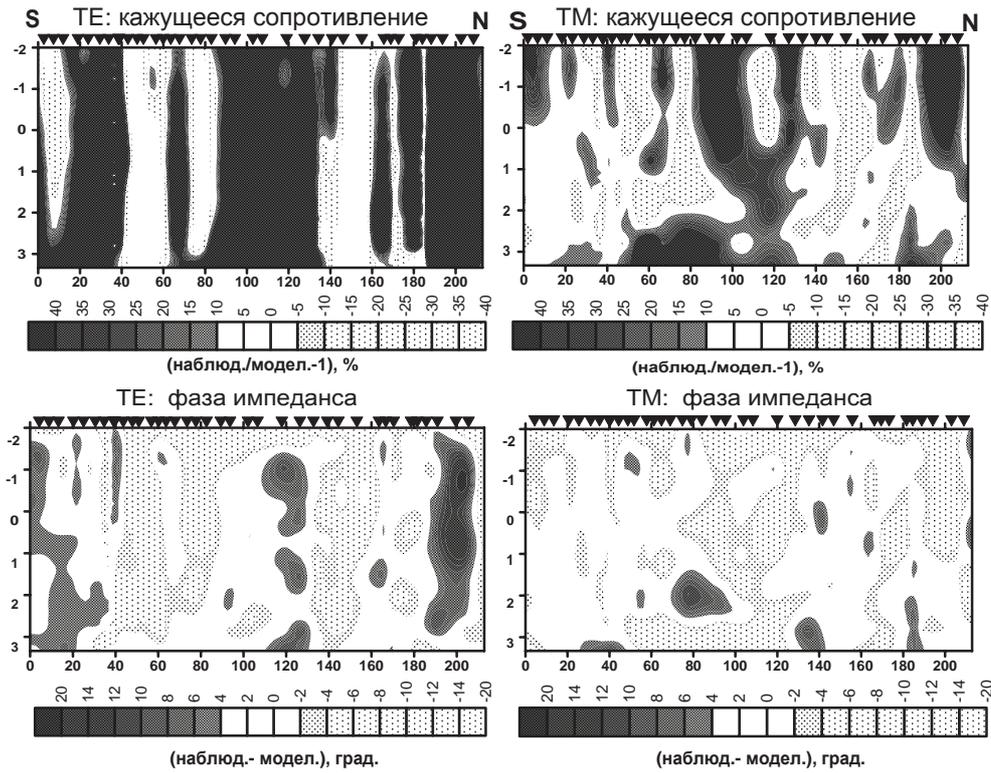


Рис. 5. Невязки между кажущимися сопротивлениями и фазами импеданса модельных и наблюдаемых данных. Вертикальная ось – десятичный логарифм периода, с; горизонтальная – расстояние, км

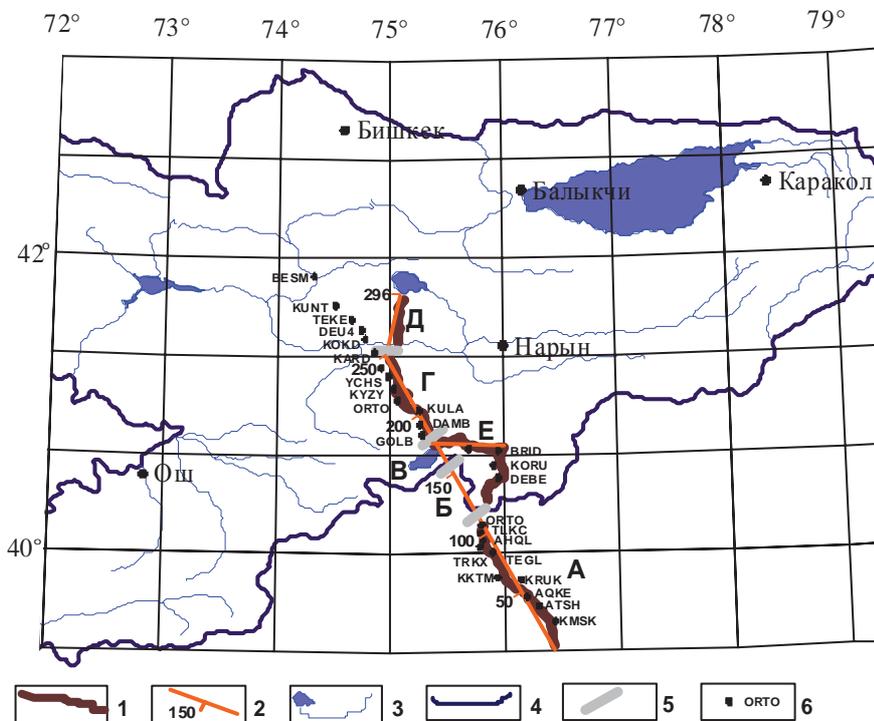


Рис. 6. План расположения трансекта MANAS: 1 – локализация пунктов взрыва по трансекту; 2 – спрямленная линия профиля, цифрами указана длина профиля в километрах; 3 – озера и реки; 4 – государственная граница Киргизстана и Китая; 5 – перерывы профиля; 6 – стационарные широкополосные сейсмические станции. Буквами обозначены непрерывные участки профиля, по которым построены разрезы МОВ-ОГТ

подготовки данных DPU XТomo. Всего на трех указанных выше профилях было снято около 200 тысяч пар вступлений источник-приемник (на центральном участке – 22 000 пар вступлений, на северном – 7200, на южном – 151 000). Моделирование лучевых траекторий показало, что значительная часть лучей лежит вне линии профиля, что свидетельствует о некорректности двумерного подхода. Поэтому было принято решение провести трехмерную томографическую обработку с использованием пакета FIRSTOMO. С целью оптимизации вычислительных ресурсов и повышения детальности исследований вся исследуемая область была разбита на участки с перекрытием. После сейсмотомографической обработки всех участков был выполнен вертикальный срез из полученного скоростного куба по линии размещения приемников. Верхняя часть разреза скоростной модели, полученной в результате сейсмотомографической обработки, послужила основой для расчета статических поправок, используемых при обработке данных

МОВ-ОГТ. На рис. 7 представлены совмещенные сейсмотомографический (для верхних +5 ÷ –5 км) и временной (0 ÷ –80 км) разрезы. Для минимизации геометрических искажений изучаемых тектонических зон они спрямлены, приведены к прямой линии путем переноса на нее субпараллельных интервалов криволинейного профиля и исключения участков, поперечных профилю и идущих вдоль простирания структур (см. рис. 6). Зияние между центральным и северным участками было закрыто путем их совмещения, что также было возможно по структурным условиям.

Сейсмический разрез, представленный на рис. 7, состоит из двух разновеликих по толщине частей, которые охарактеризованы разными параметрами и с разным разрешением. Верхняя (приповерхностная) часть представлена скоростными характеристиками геологической среды, а именно, определенным образом распределенными в пространстве скоростями распространения упругих продольных волн. Их значения изменяются в диа-

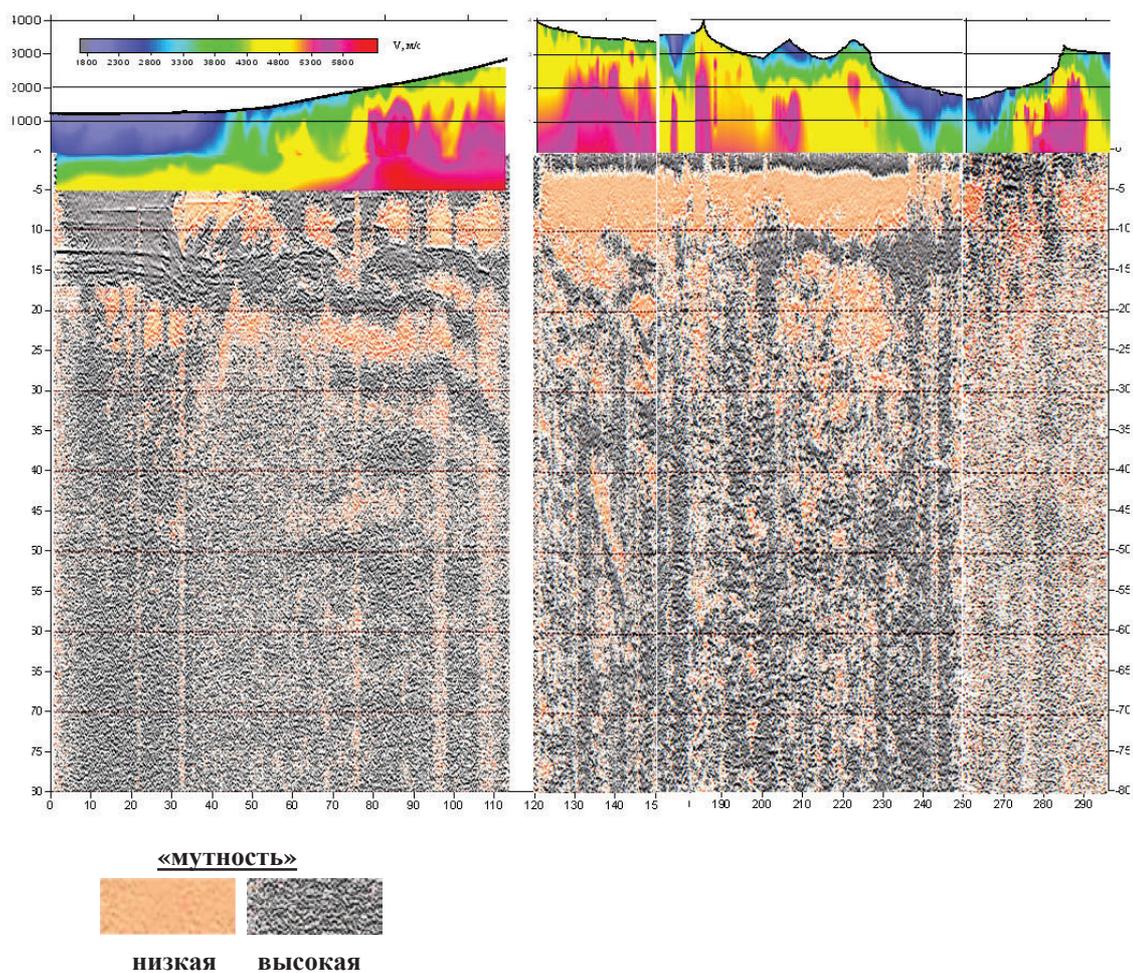


Рис. 7. Совмещенные сейсмотомографический (для верхних +5 ÷ –5 км) и временной (0 ÷ –80 км) разрезы вдоль профиля MANAS

пазоне 1,6–6,3 км/с, в общем, увеличиваясь вниз по разрезу. Структура нижней части разреза, охватывающей глубины до –80 км, выражена различиями интенсивности рассеивания волн, большей или меньшей «мутностью» среды и рисунком положения рефлекторов и дифракторов отраженных и рассеянных волн.

Сейсмическая «мутность» характеризует степень насыщенности волновых полей точками дифракции и отражающими площадками.

Сопоставление сейсмического и геоэлектрического разрезов

Сопоставим полученный комплексный сейсмический разрез (МОВ-ОГТ, сейсмотомография) с геоэлектрическим разрезом МТЗ. Проведем сравнительный анализ в региональном масштабе и рассмотрим оба разреза по всей длине выполненных профилей МОВ-ОГТ и МТЗ. На рис. 8 в согласованном горизонтальном масштабе показаны временной сейсмический разрез и разрез двумерной геоэлектрической модели.

Магнитотеллурическое и сейсмическое профилирование в южной части трансекта показало реальную структуру земной коры зоны сопряжения Таримской платформы и Тянь-Шаня. Основным элементом этой структуры является пологий подвиг земной коры Таримской платформы под кору Тянь-Шаня на расстояние до 50–100 км. Зона поддвига Тарима под Тянь-Шань рассматривается в ряде концептуальных моделей (см., например, [9]), но экспериментально геофизическими данными фиксируется впервые.

Новыми элементами структуры земной коры Центрального Тянь-Шаня, представленными в сейсмическом разрезе колоннами наиболее «мутных» (темных) сред, являются крупные вертикальные зоны, резко отличающиеся по уровню рассеивания сейсмических волн от соседних областей разреза. Они достаточно хорошо соответствуют Аксайскому, Атбашинскому и Нарынскому неотектоническим прогибам в приповерхностной структуре коры, пронизывают всю кору и уходят в мантию. Можно предполагать, что именно они в значительной мере обеспечивают вертикальные перетоки и перераспределение вещества в различных слоях коры, в том числе его нагнетание под системы поднятий с утолщением коры и отток изпод межгорных и предгорных прогибов с утонением коры, что предполагалось в концептуальных геодинамических моделях В. И. Макарова [9, 10, 11] и М. Г. Леонова [12, 13].

Детально вещественно-структурная и геодинамическая интерпретация комплекса сейсмических данных по трансекту MANAS рассмотрена в работах [14, 15].

Если говорить о региональной расслоенности исследуемой геосреды, то результаты геоэлектрики, представленные на рис. 8, в большей мере демонстрируют присутствие горизонтальных (субгоризонтальных) проводящих слоев (пластин) в диапазоне глубин 20–60 км, за исключением, пожалуй, зоны в центральной части профиля в районе Нарынской впадины, где отмечается сложная картина чередования резко дифференцированных по проводимости вертикальных структур, достигающих своими корнями глубин подошвы нижней коры и верхней мантии. На сейсмическом разрезе ОГТ преобладают крутонаклонные структуры и границы, отражающие тонкую структуру распределения неоднородностей в земной коре. В методе МТЗ такие неоднородности могут сглаживаться в получаемом отклике из-за диффузного распространения зондирующего электромагнитного поля в Земле, т. е. метод МОВ-ОГТ и метод МТЗ по-разному «чувствуют» структурные особенности земной коры. Поэтому на данном этапе интерпретации для сравнения данных ОГТ с данными МТЗ в первую очередь важно выделить крупные блоки геосреды с различной степенью гетерогенности на основе понятий интегральной сейсмической мутности и прозрачности. В настоящее время параметр гетерогенности, характеризующий степень мелкой неоднородности среды, наличие в ней «мутных» и «прозрачных» блоков или слоев является новой важной характеристикой структуры земной коры.

Из визуального анализа рис. 8 следует, что на качественном уровне в отдельных зонах просматривается корреляция отражательных и рассеивающих свойств среды с ее электрическими характеристиками, где «прозрачным» областям с пониженной плотностью рассеянных волн отвечают проводящие области в геоэлектрической модели. Наиболее отчетливо такое соответствие проявляется для наклонных и субвертикальных проводящих структур в средней–нижней коре в районе Нарынской впадины. Более сложная картина распределения электрических и сейсмических неоднородностей, а также их взаимоотношений наблюдается в остальных частях МТ профиля.

Отметим некоторую некорректность проводимого сравнения, которая связана с тем, что сопоставляются данные с различной пространственной дискретностью, где горизонтальный шаг сеточной

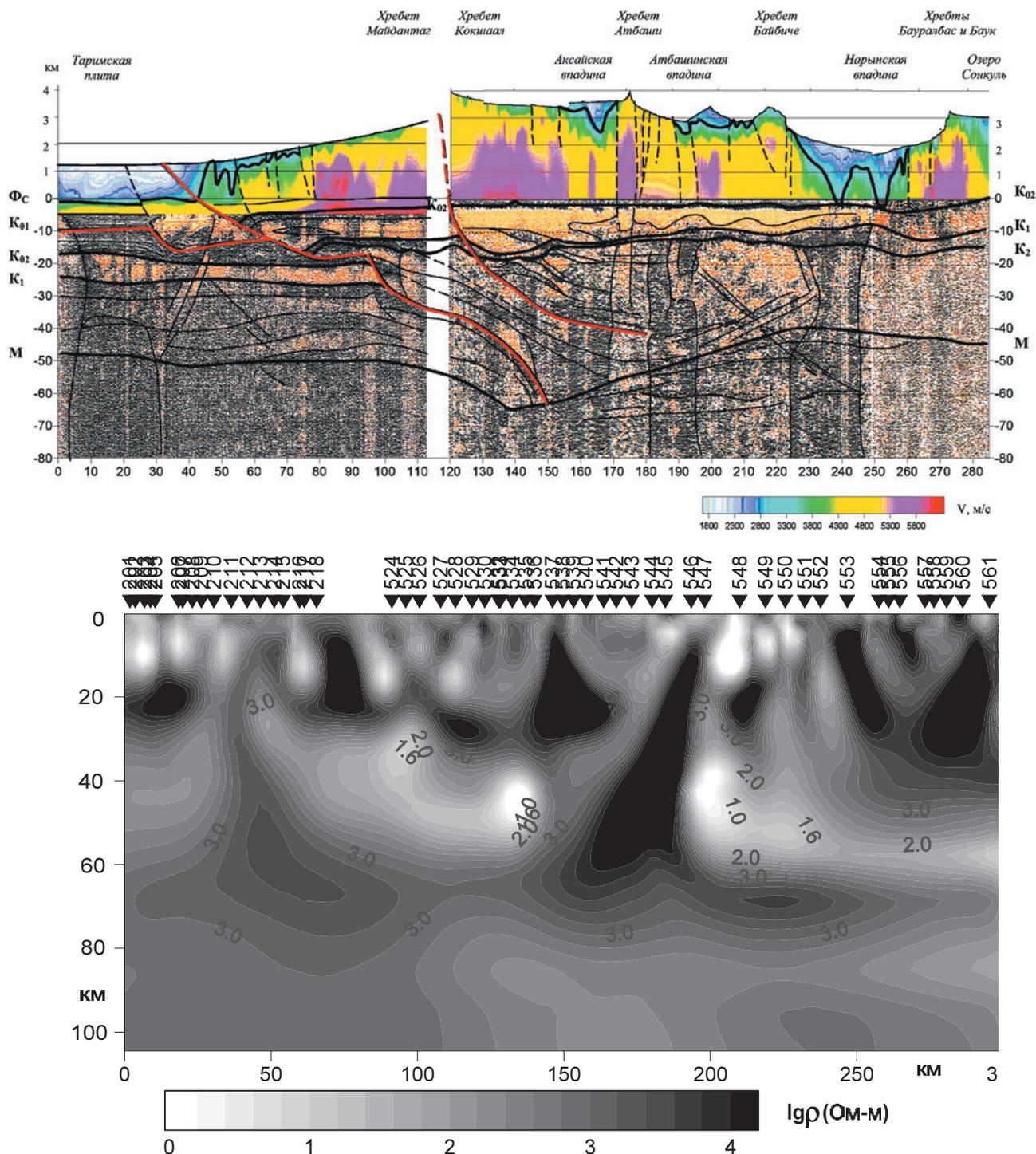


Рис. 8. Сопоставление временного сейсмического разреза МОВ-ОГТ (вверху) и геоэлектрического разреза МТЗ (внизу) в согласованном горизонтальном масштабе. Цифры на изолиниях в разрезе МТЗ показывают десятичный логарифм удельного сопротивления (Ом-м)

аппроксимации сейсмического разреза – первые сотни метров, а для МТ разреза – 3–4 км. Другой фактор, вносящий погрешности в сопоставление рассматриваемых разрезов, определяется невозможностью полного учета в двумерной геоэлектрической модели криволинейности трансекта и отклонения азимутов отдельных его участков от

меридиана. Особенно сильно это обстоятельство проявляется на участке профиля (МТ-пункты: 534–546), где пространственная рассогласованность (смещение) сравниваемых разрезов нарастает в северном направлении и достигает в итоге величины около 10 км.

Выводы

Магнитотеллурическое и сейсмическое профилирование по трансекту MANAS показали достаточно детальную глубинную структуру земной коры Центрального Тянь-Шаня (включая область сочленения Южного Тянь-Шаня и Тарима). Основным элементом этой структуры является пологий подвиг земной коры Таримской платформы под кору Тянь-Шаня на расстояние до 50–100 км. Эти дислокации распространяются, по крайней мере, до Нарынской впадины и охватывают практически всю толщу земной коры и верхи мантийной литосферы.

Впервые в структуре земной коры Тянь-Шаня выявлены вертикальные сейсмические неоднородности, по-видимому, связанные с восходящими и нисходящими каналами массопереноса и флюидопотока.

Сравнительный анализ геоэлектрических и сейсмических построений трансекта MANAS показал, что метод магнитотеллурического зондиро-

вания и метод отраженных волн в модификации общей глубинной точки по-разному описывают структуру земной коры и верхней мантии. МТЗ представляет кору главным образом в виде горизонтально-слоистой среды. На разрезе ОГТ в большей мере отчетливо проявляются крутонаклонные структуры, которые хорошо коррелируют со сложной приповерхностной тектоникой. Однако в отдельных зонах отмечена корреляция отражательных и рассеивающих свойств среды с ее электрическими характеристиками, где «прозрачным» областям с пониженной плотностью рассеянных волн отвечают проводящие области в геоэлектрической модели.

Автор искренне благодарен всем своим коллегам – огромному коллективу творческой лаборатории «MANAS», благодаря которым были успешно выполнены полевые наблюдения по трансекту, проведены первичная обработка и анализ геофизических материалов

ЛИТЕРАТУРА

1. Щелочков Г. Г. Исследования глубинного строения Центрального Тянь-Шаня по геофизическому трансекту MANAS / Г. Г. Щелочков [и др.] // Геодинамика внутриконтинентальных орогенов и геоэкологические проблемы : материалы 4-го Международного Симпозиума, г. Бишкек, 15–20 июня 2008 г. – Бишкек : Научная станция РАН, 2008. – С. 188.

2. Бердичевский М. Н. Анализ и интерпретация магнитотеллурических данных / М. Н. Бердичевский [и др.]. – М. : Диалог-МГУ, 1997. – 161 с.

3. Bahr K. Interpretation of magnetotelluric impedance tensor: regional induction and local telluric distortion / K. Bahr // J. Geophys. – 1988. – V. 62. – P. 119–127.

4. Eggers D. E. An Eigenstate formulation of the magnetotelluric impedance tensor / D. E. Eggers // Geophysics. – 1982. – V. 47. – P. 1204–1214.

5. Swift C. M. A Magnetotelluric Investigation of an Electrical Conductivity Anomaly in the Southern United States : Ph.D Dissertation / C. M. Swift. – M.I.T., 1967.

6. Rodi W. L. Nonlinear conjugate gradients algorithm for 2D magnetotelluric inversion / W. L. Rodi, R. L. Mackie // Geophysics. – 2001. – Vol. 66. – P. 174–187.

7. Щелочков Г. Г. Трансект «MANAS»: первые результаты обработки и интерпретации сейсмических данных Центрального Тянь-Шаня / Г. Г. Щелочков // Геодинамика внутриконтинентальных орогенов и геоэкологические проблемы : сб. материалов Четвертого международного симпозиума 15–20 июня 2008 г., Москва–Бишкек, 2009. – С. 59–67.

8. Павленкин А. Д. Применение сейсмотомографии для изучения скоростного разреза для решения различных геофизических задач / А. Д. Павленкин, Ю. В. Рослов // Информационные технологии и обратные задачи рационального недропользования : материалы конференции. – Ханты-Мансийск, 2005.

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

10. Макаров В. И. Новейшие орогены, их структура и геодинамика : дис. ... д-ра геол.-минерал. наук / В. И. Макаров. – М. : ГИН АН СССР, 1990. – 57 с.

11. Макаров В. И. Современные деформации земной коры под влиянием глобальных и региональных процессов / В. И. Макаров [и др.] // Современные изменения в литосфере под влиянием природных и антропогенных факторов. – М. : Недра, 1996. – С. 7–50.

12. Леонов М. Г. Внутренняя подвижность фундамента и тектогенез активизированных платформ / М. Г. Леонов // Геотектоника. – 1993. – № 5. – С. 16–33.

13. Леонов М. Г. Альпийский этап в геодинамической эволюции Южного Тянь-Шаня (на примере Гиссаро-Алайской системы) / М. Г. Леонов // Современная геодинамика областей внутриконтинентального коллизионного горообразования (Центральная Азия). – М. : Научный мир, 2005. – С. 327–348.

14. *Makarov V. I. Underthrusting of Tarim under Tian Shan and their deep structure inferred from seismic research along the profile MANAS (Kashghar – Songkul) / V. I. Makarov [et al.] // Tectonic Evolution and Crustal Structure of the Tien Shan Belt and Related Terrains in the Central Asian Orogenic Belt: Abstracts, International Excursion and Workshop, Bishkek, Kyrgyzstan, 8–17 June. – Bishkek, 2009. – P. 35–38.*

*Учреждение Российской академии наук Научная станция Российской академии наук в г. Бишкеке
А. К. Рыбин, кандидат физико-математических наук, директор, заведующий лабораторией глубоких магнитотеллурических исследований
Тел. 8 (810996312) 611-459
rybin@gdirc.ru*

15. *Макаров В. И. Подвиг Тарима под Тянь-Шань и глубинная структура зоны их сочленения: основные результаты сейсмических исследований по профилю MANAS (Кашгар – Сонкель) / В. И. Макаров // Геотектоника. – 2010 (в печати).*

Рецензент В. Н. Глазнев

*Institution of the Russian Academy of Sciences – Research Station of the Russian Academy of Sciences in Bishkek city (RS RAS)
А. К. Rybin, Candidate of Physico-Mathematical Sciences, director, Head of the Laboratory for deep magnetotelluric research
Tel. 8 (810996312) 611-459
rybin@gdirc.ru*