

ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ЛИТОСФЕРЫ ЦЕНТРАЛЬНОГО И ЮЖНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ В СОПОСТАВЛЕНИИ С ПЕТРОЛОГИЧЕСКИМ АНАЛИЗОМ И ЛАБОРАТОРНЫМИ ИССЛЕДОВАНИЯМИ НИЖНЕКОРОВЫХ И ВЕРХНЕМАНТИЙНЫХ КСЕНОЛИТОВ

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

Научная станция РАН, 720049, Бишкек, Кыргызстан

** Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Академика Коптога, 3, Россия*

В результате работ, выполненных в Киргизском Тянь-Шане методом магнитотеллурического зондирования (МТЗ) по глубинным профилям вдоль меридианов 74° и 76° в.д. в разрезах земной коры, выделены проводящие объекты, соответствующие ограничениям Ат-Башинской аккреционно-коллизонной зоны и Иссык-Кульского микроконтинента. Распределение сейсмических скоростей v_p , полученное по методу обменных волн землетрясений (МОВЗ) вдоль трансекта MANAS (2007 г.), в сопоставлении с геоэлектрической моделью для Ат-Башинской аккреционно-коллизонной зоны подтвердило предположение о том, что расположение и наклон крупных пластин (чешуй), а также способ и направление эксгумации эклогитов в этой зоне аналогичны наблюдаемым в Северо-Западном Китае. Данные петрологического анализа, термобарометрии и лабораторных исследований скоростей упругих волн нижнекоровых и верхнемантийных ксенолитов свидетельствуют о том, что поверхность Мохо на момент выноса ксенолитов около 70 млн л.н. располагалась на глубине около 35 км, в то время как ее современная глубина залегания составляет 55 км. Тепловой поток на поверхности за 70 млн лет уменьшился с 80 до 60 мВт/м².

Магнитотеллурическое зондирование, электропроводность коры, сейсмические скорости, термобарометрия, Тарим, Тянь-Шань, Ат-Башинская аккреционно-коллизонная зона, Иссык-Кульский микроконтинент.

THE LITHOSPHERIC STRUCTURE OF THE CENTRAL AND SOUTHERN TIEN SHAN: MTS DATA CORRELATED WITH PETROLOGY AND LABORATORY STUDIES OF LOWER-CRUST AND UPPER-MANTLE XENOLITHS

V.Yu. Batalev, E.A. Bataleva, V.V. Egorova, V.E. Matyukov, and A.K. Rybin

Magnetotelluric soundings (MTS) in the Kyrgyz Tien Shan along 74° and 76° E profiles reveal conductors in the crust which delineate the boundaries of the At-Bashi accretionary-collisional zone and the Issyk-Kul microcontinent. Correlated to earthquake converted-wave patterns (v_p) along the MANAS profile collected in 2007, the geoelectric model for the At-Bashi zone lends support to the hypothesis that the position and dip of large thrust sheets, as well as the way and direction of exhumation of eclogites in this zone, are similar to those in northwestern China. Petrological analysis, geothermobarometry, and elastic P -wave velocities measured in laboratory on lower-crust and upper-mantle xenoliths indicate that at the time when the xenoliths were dragged to the surface at ~ 70 Ma, the Moho was 20 km shallower than now (35 km against 55 km) and the heat flux was 20 mW/m² higher (80 against 60 mW/m²).

Magnetotelluric soundings (MTS), crustal conductors, seismic velocities, geothermobarometry, Tarim, Tien Shan, At-Bashi accretionary-collisional zone, Issyk-Kul microcontinent

ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

К настоящему моменту накоплен достаточно большой объем полевых данных, построены геоэлектрические и скоростные модели глубинного строения Тянь-Шаня [Рёкер, 2001; Рыбин, 2001; Баталев, 2001; Bielinski et al., 2003; Современная геодинамика..., 2005; Макаров и др., 2010а,б]. Однако на рассматриваемой территории еще не предпринимались попытки использовать для интерпретации глубинных геофизических разрезов и оценки состояния вещества нижней коры и верхней мантии лабораторные измерения физических свойств образцов глубинных пород при высоких PT -условиях (рис. 1).

Физические свойства пород нижней коры и верхней мантии под Ат-Башинским и Кок-Шаальским хребтами определены при лабораторных измерениях электропроводности и скоростей упругих волн на образцах эклогитов и глубинных ксенолитов, вынесенных на поверхность щелочными базальтами [Bata-

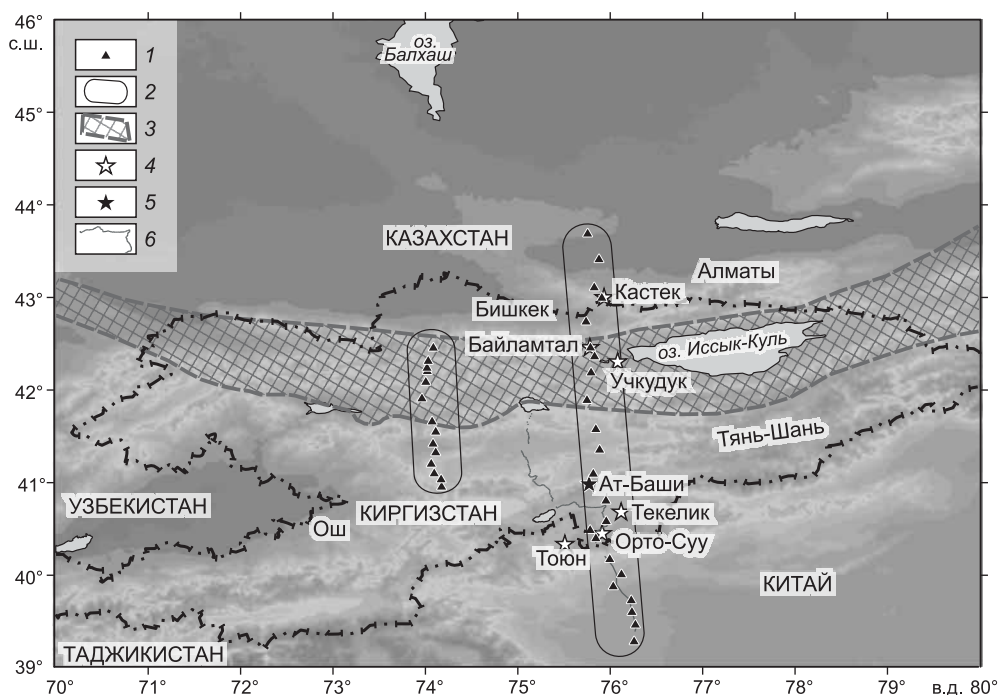


Рис. 1. Схема выходов глубинных пород вдоль магнитотеллурического профиля по меридиану 76° в.д. через Тянь-Шань.

1, 2 — пункты и профили МТЗ соответственно; 3 — Иссык-Кульский микроконтинент; 4, 5 — выходы: 4 — базальтов, 5 — эклотитов; 6 — трансект MANAS.

lev et al., 2009]. Привлечение для петрологической интерпретации геофизических моделей данных лабораторных измерений физических свойств пород, являющихся репрезентативными для нижней коры и верхней мантии Тянь-Шаня, служит средством для раскрытия особенностей глубинной структуры и состояния вещества Тянь-Шаньского внутриконтинентального орогена и его геодинамического состояния. На формирование кайнозойской структуры и геодинамики Тянь-Шаня действовали два фактора: надвигание Памира и поддвигание Таримской плиты. Они создали различные структурно-геодинамические провинции, разделенные зоной Таласо-Ферганского разлома. На Памире и Западном Тянь-Шане, находившимся вблизи давления Пенджабского «индентора», деформации проявились в форме сдвиго-надвигов, надвигов и складок северной вергентности. Восточнее Таласо-Ферганского правостороннего сдвига общее северное направление сжатия со стороны Тарима вызвало поднятие Тянь-Шаня, ограниченного с севера стабильной и мощной Казахстанской плитой. Тянь-Шань формировался как горная область с надвиганием на Таримскую и Казахстанскую плиты. В структуре Тянь-Шаня выделяется «жесткий» Иссык-Кульский (Северо-Тяньшаньский) докембрийский блок (микроконтинент), окруженный «мягким» матриксом аккреционно-коллизонных зон. В результате кайнозойского сжатия большинство деформаций проявилось по обрамлению докембрийского блока, что отчетливо зафиксировано в сейсмичности, геофизической неоднородности глубинной структуры и геодинамики формирования рельефа [Buslov et al., 2003, 2004, 2007, 2011; Glorie et al., 2010].

Исследования последних лет показали, что данные глубинной магнитотеллурики приводят к качественно новым выводам, если они анализируются в рамках комплексных геофизических моделей совместно с результатами петрологического анализа и термобарометрии [Batalev et al., 2010; Bagdassarov et al., 2011]. Это может быть информация о флюидном режиме [Bataleva et al., 2009], зонах фазовых переходов и термодинамическом состоянии литосферы, степени и характере его пористости, а также истории развития геодинамических обстановок [Bagdassarov et al., 2011].

Изучение глубинного строения Тянь-Шаня с помощью методов МТЗ Научная станция РАН проводит уже более 20 лет. За это время выполнено около 800 магнитотеллурических зондирований в диапазоне периодов от 0.1 до 1600 с и более 30 глубинных магнитотеллурических зондирований — до 3000 с. Регистрация магнитотеллурического поля осуществлялась с помощью станций ЦЭС-2, МТ-ПИК, ИЗМИРАН-5, LIMS, МТ-24 ЕМІ и Phoenix MTU-5.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Настоящая работа основана на результатах исследований, полученных при выполнении крупных международных проектов, таких как «Геодинамика Тянь-Шаня» (1999 г.), международной программы «Геодинамика Тянь-Шаня» (2007 г.) вдоль трансекта MANAS (Middle AsiaN Active Seismic profiling), в которой осуществлен комплекс совместных работ по методам глубинных МТЗ, МОБЗ и вертикальное сейсмическое зондирование. В результате интерпретации магнитотеллурических и сейсмических данных были построены: геоэлектрическая модель литосферы Тянь-Шаня, опубликованная в работах [Bielinski et al., 2003; Рыбин и др., 2009], и сейсмические модели [Баталева и др., 2008, 2009; Макаров и др., 2010а,б]. В дополнение к уже имеющимся моделям в 2010 г. с использованием новых детализационных зондирований Phoenix MTU-5 построена геоэлектрическая модель по Кекемеренскому профилю вдоль меридиана 74° в.д. с помощью методики, приведенной в работах [Бердичевский и др., 1997; Трапезников и др., 1997; Bielinski et al., 2003]. Коррекция статических смещений магнитотеллурических (МТ) кривых приводилась к средним геометрическим значениям по левым ветвям кривых кажущегося сопротивления (до 10 с) для каждого пункта профиля. При инверсии исходных данных в качестве стартовой модели использовался однородный слой с сопротивлением 500 Ом·м до глубины 150 км и слоистая модель нормального разреза глубже.

Лабораторные измерения физических свойств образцов нижнекоровых и верхнемантийных пород были выполнены в Университете им. И.В. Гёте Франкфурта-на-Майне (Германия) под руководством Н. Багдассарова. Методика проведения измерений и результаты экспериментов на образцах глубинных пород из Тянь-Шаня опубликованы в статье [Bagdassarov et al., 2011].

Петрологический анализ собранных на территории Южного и Центрального Тянь-Шаня образцов глубинных пород (ксенолитов шпинелевых лерцолитов и гранулитов из щелочных базальтов Орто-Суу и эклогитов Ат-Баши [Симонов и др., 2008а]) был выполнен в ИГМ СО РАН (г. Новосибирск). Химический состав минералов был определен с помощью Camebax electron microprobe в ИГМ СО РАН и в Университете им. И.В. Гёте (г. Франкфурт-на-Майне) [Bagdassarov et al., 2011].

КОЛЛИЗИОННО-АККРЕЦИОННЫЙ КЛИН АТ-БАШИНСКОЙ СУТУРНОЙ ЗОНЫ В ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ

В верхней части зоны субдукции в результате столкновения океанической и континентальной литосферных плит, а также в зонах столкновения гималайского типа на конвергентных границах плит могут образовываться коллизионно-аккреционные клинья или аккреционные комплексы. Последние диагностируются по чешуям и линзам офиолитов, по зонам меланжа и присутствию олистостромовых комплексов. Офиолитами маркируются останцы коры океанического типа. Считается, что в зонах субдукции формируются эклогиты и глаукофановые сланцы [Добрецов и др., 1974; Добрецов, 1981].

Наиболее трудными для интерпретации элементами аккреционных комплексов являются эклогиты и глаукофановые сланцы, формирование которых происходит при высоких давлениях и низких температурах (HP и LT). По данным В.А. Симонова [2008а], формирование эклогитов Ат-Башинского хребта, согласно минералогической термобарометрии, происходило в интервале температур 640—720°C и при давлениях 23—24 кбар. Таким образом, они могли образоваться в зоне субдукции на глубине 70—

90 км. Гипотеза о погружении эклогитов на глубину и затем быстрого поднятия на поверхность долгое время порождает множество вопросов, в связи с чем были разработаны альтернативные модели тектонического сверхдавления и другие. Главной остается проблема, каким образом толщи, образовавшиеся на глубинах, значительно превышающих мощность континентальной коры, подняты на по-

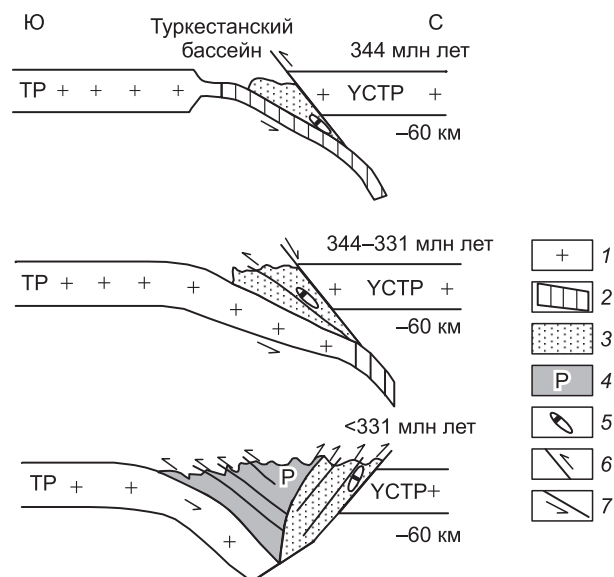


Рис. 2. Тектоническая модель эксгумации тяньшаньских HP-LT пород в Северо-Западном Китае, по [Gao, Klemd, 2003].

1, 2 — кора: 1 — континентальная, 2 — океаническая; 3 — меланж аккреционного клина; 4 — осадки пассивных окраин; 5 — эклогиты; 6 — надвиг; 7 — нормальный сброс. TP — Таримская плита, YCTR — Илийско-Центрально-Тяньшаньская плита.

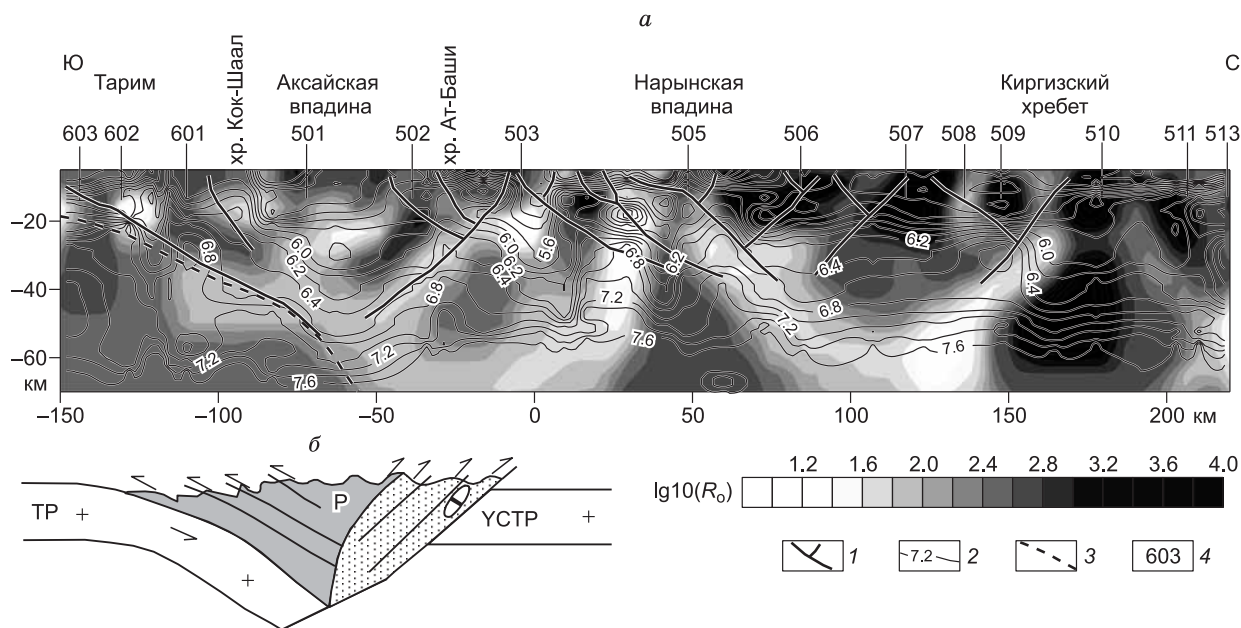


Рис. 3. Сопоставление геофизических моделей (а) со схематическим разрезом аккреционно-коллизонной зоны, по [Gao, Klemd, 2003] (б).

Геоэлектрическая структура земной коры вдоль МТ профиля 76° в.д. через Тянь-Шань, по [Bielinski et al., 2003]. 1 — глубинные разломы, по [Thompson et al., 2002]; 2 — изолинии скоростей v_p (км/с); 3 — пологий подвиг Таримской платформы под кору Тянь-Шаня, по данным МОВ-ОГТ, трансект МАНАС [Баталева и др., 2009]; 4 — пункты глубинных МТЗ. Остальные усл. обозн. см. на рис. 2. $\lg 10(R_0)$ — логарифм электронсопротивления ($\lg 10(2) = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, $\lg 10(4) = 1000 \text{ Ом} \cdot \text{м}$).

верхность, и как содержащиеся в них минеральные ассоциации НР и ЛТ сохранились без существенных изменений при подъеме. Последнее можно объяснить только высокой скоростью подъема, соизмеримой со скоростью субдукции [Добрецов, 1981], однако создание обоснованной тектонической модели, обеспечивающей такую высокую скорость подъема фрагментов эклогитизированной при субдукционном погружении океанской коры, является сложной проблемой. На рис. 2 показана модель эксгумации НР и ЛТ пород, представленная [Gao, Klemd, 2003] для Тянь-Шанского коллизонно-аккреционного клина (Северо-Западный Китай).

Для оценки подобия тектонических элементов этой модели и характерных особенностей геофизических разрезов по меридиану 76° в.д. проведем их сопоставление. На рис. 3 в одном масштабе приводятся геоэлектрический разрез земной коры [Bielinski et al., 2003] и скоростная модель, полученная по данным МОВЗ [Макаров и др., 2010а, б], являющаяся одним из основных результатов работ по трансекту МАНАС. Рассмотрим треугольную область модели между пунктами МТЗ 603 и 503, образованную глубинными разломами [Thompson et al., 2002]. Обращает на себя внимание тот факт, что зоны контрастных значений электросопротивления от десятков до десятков тысяч ом на метр чередуются и протягиваются вдоль глубинных разломов, подчеркивая общую треугольную форму клина и демонстрируя вложенные «клинья». Изолинии скорости v_p в рассматриваемой области между глубинными разломами также протягиваются параллельно границам клина, подтверждая общую ориентацию и форму структуры, наблюдаемых в геоэлектрическом разрезе. Однако в отличие от значений электросопротивления, которые имеют характер чередующихся проводников и изоляторов, значения скорости (v_p) градиентно возрастают с глубиной от 5 до 6.5 км/с. Таким образом, структура коллизонно-аккреционного клина Ат-Башинской сутурной зоны в модели эксгумации эклогитов в Северо-Западном Китае, согласно работе [Gao, Klemd, 2003], подобна структуре зоны сочленения Тарима и Тянь-Шаня как в геоэлектрической, так и в сейсмической моделях [Баталева и др., 2008; Макаров и др., 2010б; Рыбин, 2010].

Для Ат-Башинской сутурной зоны нет возможности дать геологическую интерпретацию каждого аккреционного сегмента в рассматриваемой области моделей, поскольку в верхней части коры образование аномалий электропроводности и изменение сейсмических скоростей вероятно как за счет контрастности свойств горных пород, слагающих аномальные структуры, так и за счет наличия флюидов в поровом пространстве сильнодислоцированных массивов пород, что само по себе является сложной задачей, требующей отдельных усилий для ее решения.

ПЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ГЛУБИННОЙ ЗОНЫ СОЧЛЕНЕНИЯ ТАРИМА И ТЯНЬ-ШАНЯ

Геодинамическая история, связанная с рассматриваемой зоной сочленения Тарима и Тянь-Шаня (Ат-Башинской аккреционно-коллизийной зоны) может быть разделена на четыре основных периода (рис. 4). В течение первого периода, соответствующего C_{1-2} (350—320 млн лет) происходило закрытие Туркестанского палеоокеана [Буртман, 2009] и формирование эклогитовых массивов в зоне субдукции.

В настоящий момент тянь-шаньские эклогитовые комплексы маркируют сутуру закрытия Туркестанского бассейна [Симонов и др., 2008а]. В течение C_2-P_1 (320—250 млн лет) [Буртман, 2009] в зоне сочленения Тарима и Тянь-Шаня происходила континентальная коллизия. Следующий период $K-P$ (~ 70 млн лет) характеризовался плюмовой активностью и базальтовым вулканизмом. От 35 млн л.н. до настоящего времени Тянь-Шань подвергался тектонической активизации с поперечным сокращением и увеличением мощности земной коры [Макаров, 1977; Abdrakhmatov et al., 1996; Buslov et al., 2007; Buslov, De Grave, 2011; Bagdassarov et al., 2011]. Геодинамические процессы, происходившие в упомянутые периоды, соответственно отражались в характеристиках глубинных объектов зоны сочленения Тарима и Тянь-Шаня.

Необходимо отметить, что в зоне сочленения Тянь-Шаня и Казахской плиты найдены эклогиты, формировавшиеся в ордовике [Tagiri et al., 1995], также показанные на рис. 4, но лабораторные из-

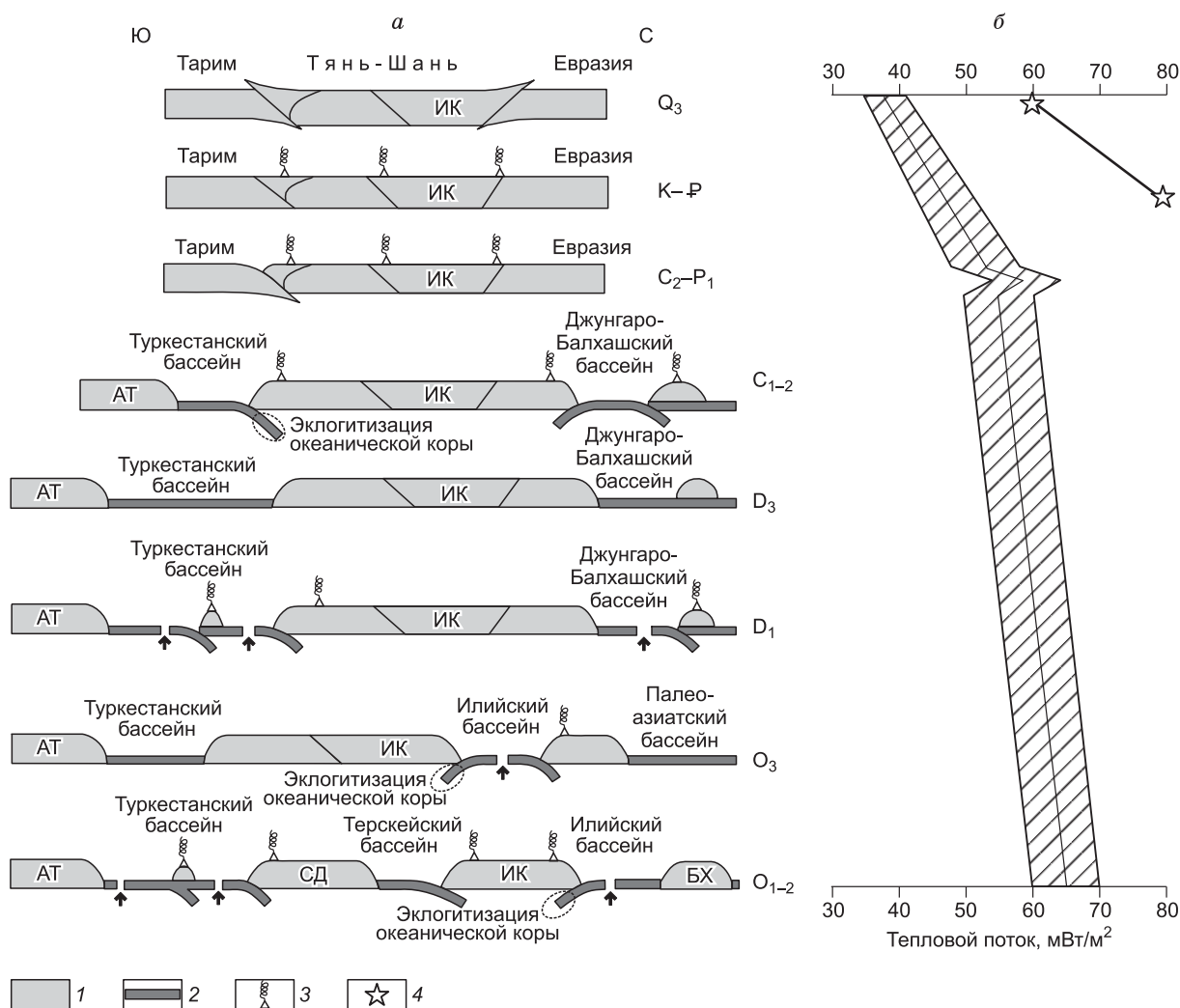


Рис. 4. Геодинамическая история Тянь-Шаня, модифицировано по [Буртман, 2009] (а); региональное остывание литосферы для северной части Тарима с ордовика до настоящего времени, по [Meijun Li et al., 2010] (б).

1 — континентальная кора; 2 — океаническая кора; 3 — вулканизм; 4 — термобарометрия и современный тепловой поток. Микроконтиненты: АТ — Алай-Таримский, ИК — Иссык-Кульский, СД — Сыр-Дарьинский, БХ — Борохоро.

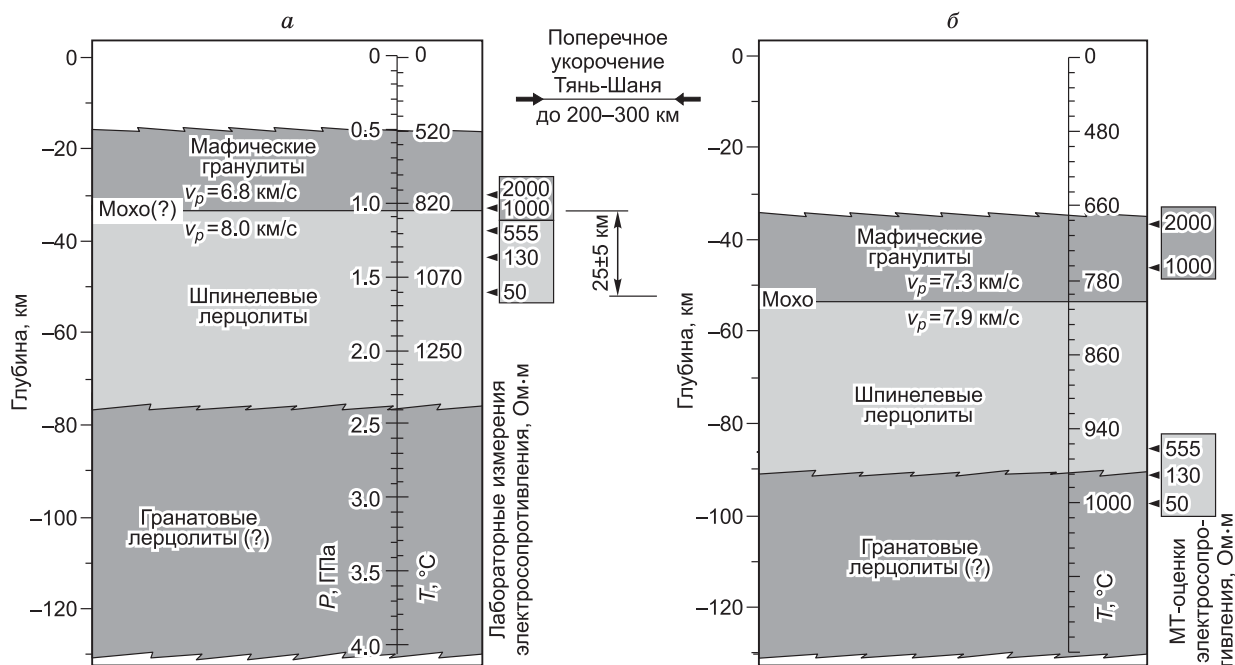


Рис. 5. Состояние литосферы Южного Тянь-Шаня, хр. Кок-Шаал в мел-палеогеновое время (70 млн л.н.) (а) и в настоящее (б).

а — палеогеотерма 80—85 мВт/м² определена по термобарометрии ксенолитов, лабораторные измерения электросопротивления и сейсмических скоростей; б — геотерма 55—60 мВт/м² определена по тепловому потоку на поверхности, магнитотеллурические оценки электросопротивления, сейсмические скорости МОВЗ.

мерения физических свойств этих эклогитов для сравнения с глубинными геофизическими разрезами еще не проводились.

В настоящей работе предпринята попытка анализа особенностей распределения сейсмических скоростей и электропроводности в нижней коре — верхней мантии зоны сочленения Тарима и Тянь-Шаня в сопоставлении с лабораторными измерениями физических свойств, проводимыми на сухих образцах лерцолитовых и гранулитовых ксенолитов и эклогитов, с опорой на петрологический анализ этих глубинных пород. Совпадение результатов «сухих опытов» лабораторных измерений электропроводности со значениями электропроводности нижнекоровых—верхнемантийных горизонтов в соответствующих частях геоэлектрической модели позволяет предположить: литосферная мантия в зоне сочленения Таримской плиты и Тянь-Шаня представлена лерцолитами; она не содержит свободного флюида в количестве, достаточном для формирования проводящих объектов и зон частичного плавления, которые выделялись бы в МТ модели, т.е. электропроводность этих горизонтов в основном обуславливается их вещественным составом и распределением температур. Средняя величина удельного сопротивления в рассматриваемой модели на глубинах 100—120 км [Bielinski et al., 2003], составляет около 100 Ом·м, что выше, чем таковая для частичного расплава и, таким образом, расплав может присутствовать лишь в малых количествах (< 1 %) или в изолированных камерах. Вода, содержащаяся в кристаллической решетке оливина в составе перидотитов, также может уменьшить его удельное сопротивление, но недавние измерения содержания воды в кристаллической решетке оливина из образцов ксенолитов шпинелевых лерцолитов Орто-Суу методом ИК-спектрометрии в ИГМ СО РАН показали практически полное отсутствие (устное сообщение В.В. Егоровой).

По результатам термобарометрии лерцолитовых и гранулитовых ксенолитов из базальтов Орто-Суу, величина теплового потока для рассматриваемого участка около 70 млн л.н. оценивается 80 мВт/м², что значительно выше, чем современный тепловой поток, составляющий в этом районе около 60 мВт/м². На рис. 4, б показано уменьшение теплового потока — региональное остывание литосферы для северной части Тарима с ордовика до настоящего времени [Meijun Li et al., 2010], и остывание литосферы Южного Тянь-Шаня (показано звездочками) по данным термобарометрии ксенолитов и современному тепловому потоку для Южного Тянь-Шаня, хр. Кок-Шаал от мел—палеогена (К—Р) до настоящего времени [Дучков и др., 2001; Bagdassarov et al., 2011].

Мощность земной коры Южного Тянь-Шаня около 70 млн л.н. оценивается по положению на *PT*-диаграмме границы между гранулитами и шпинелевыми лерцолитами [Bagdassarov et al., 2011] и составляет 35—40 км (11—12 кбар). Эта оценка положения палеоповерхности Моховорвичича (рис. 5) подтверждается лабораторными измерениями продольных скоростей сейсмических волн на образцах гранулитов и лерцолитов.

Экстраполированные для глубины и температуры поверхности Мохо значения скоростей продольных волн для образцов гранулита составили 6.8 км/с, для шпинелевого лерцолита — 8.0 км/с. В сейсмических разрезах, полученных по результатам МОВЗ [Макаров и др., 2010], значения скоростей продольных волн над и под разделом Мохо для Южного Тянь-Шаня оцениваются в 7.3 и 7.9 км/с соответственно. Температура на палеогранице Мохо (35 км) оценивается около 840°C, т.е. на 50°C выше, чем на современной поверхности Мохо. Мощность земной коры под Южным Тянь-Шанем, согласно анализу обменных волн, составляет 55 км [Рёкер, 2001]. Таким образом, остыванию литосферы сопутствовало увеличение глубины залегания поверхности Моховорвичича.

ОТОБРАЖЕНИЕ ИССЫК-КУЛЬСКОГО МИКРОКОНТИНЕНТА В ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЯНЬ-ШАНЯ

Основной проблемой интерпретации глубинных магнитотеллурических зондирований является решение вопроса о природе аномалий коровой электропроводности, поскольку именно этим определяется их роль в изучении геодинамических процессов и геологического строения Земли. В соответствии с современными представлениями о природе коровых проводящих слоев существует несколько возможных механизмов повышенной электропроводности: либо высокая электронная проводимость пород, слагающих верхнюю кору; либо ионная, связанная в основном с присутствием в породах воды и растворов солей; либо с частичным плавлением пород земной коры. В качестве электропроводящих пород, присутствующих в метаморфических комплексах фундамента, чаще всего встречаются углерод и сульфид-

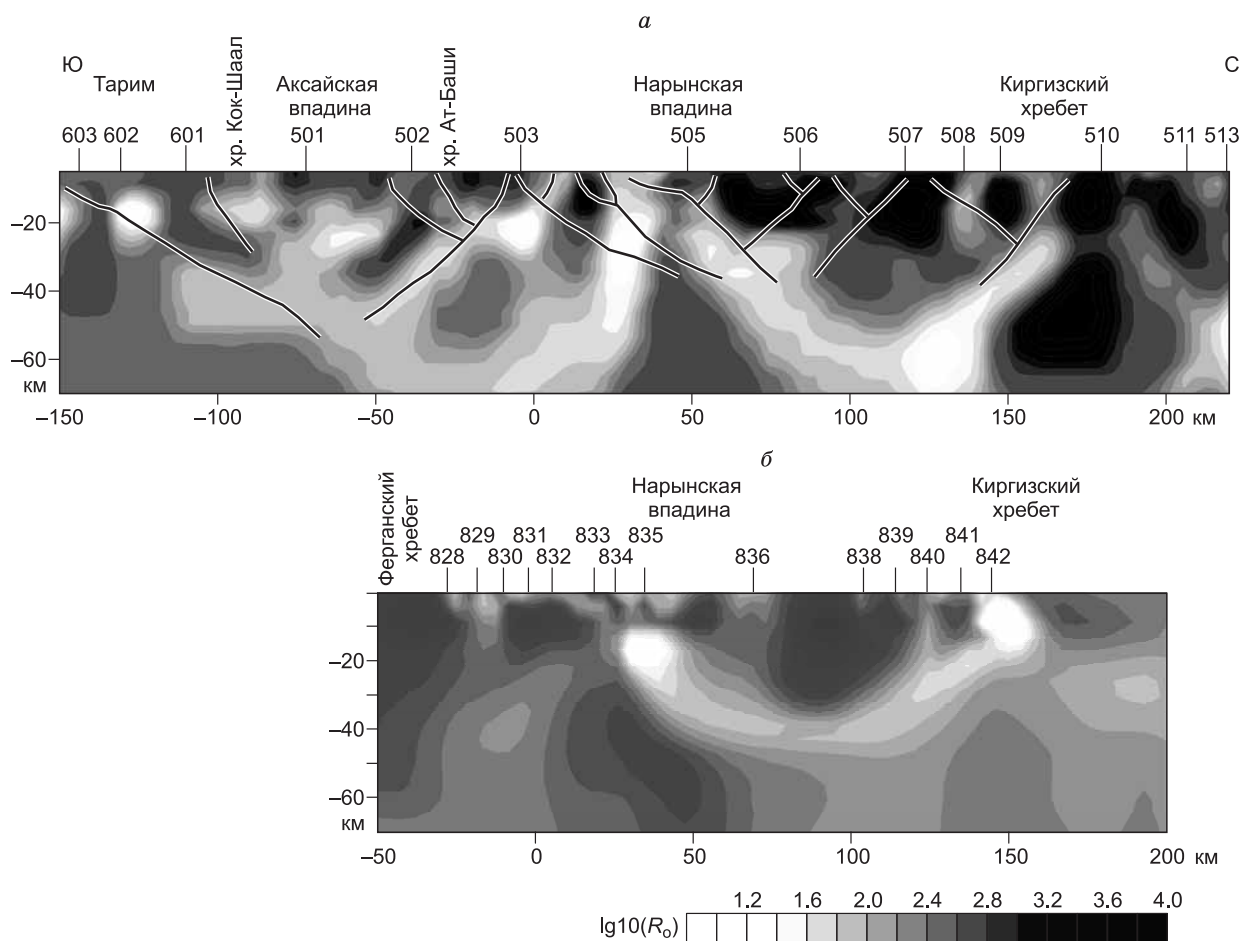


Рис. 6. Сечение Исык-Кульского микроконтинента, по данным глубинных МТЗ, региональными профилями вдоль меридианов 76° в.д. (а) и 74° в.д. (б)

содержащие гнейсы и сланцы, включающие в себя пирит, пирротин, графит. Однако для активных зон наиболее оправданной является флюидная гипотеза возникновения аномальной коровой электропроводности, так как из-за тектонических движений сохранение целостности тонких пленок пород с электронной проводимостью (графита) затруднено, в то время как изменение конфигурации объединенного порового пространства, заполненного флюидом, без значительных изменений его объема не может приводить к большим изменениям электропроводности.

При совместном рассмотрении глубинных разрезов МТЗ по региональным профилям вдоль меридианов 74° и 76° в.д. (рис. 6) наблюдается значительное сходство поведения коровых проводящих структур на расстоянии от Нарынской впадины до Киргизского хребта, соответствующих в плане контурам Иссык-Кульского микроконтинента [Buslov et al., 2003, 2007, 2011] (см. рис. 1). Проводящие структуры на геоэлектрических разрезах, соответствующие северной и южной границам Иссык-Кульского микроконтинента, круто опускаются до глубин 40 км и более на Кекемеренском (74° в.д.) профиле и на глубины до 50 км на Нарынском (76° в.д.). Подошва Иссык-Кульского микроконтинента трассируется коровым проводником, который на обоих разрезах залегает субгоризонтально на протяжении почти 50 км. Обращает на себя внимание тот факт, что выделяемые в обеих рассматриваемых моделях высокоомные структуры внутри Иссык-Кульского микроконтинента имеют сходную структуру, хотя расстояние между геоэлектрическими разрезами довольно значительное и составляет около 150 км. То обстоятельство, что границы Иссык-Кульского микроконтинента являются электропроводящими, хотя он занял свое место еще в раннем девоне [Буртман, 2009], позволяет предположить влияние современной тектонической активизации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате работ, выполненных в Киргизском Тянь-Шане методом магнитотеллурического зондирования (МТЗ) по глубинным профилям вдоль меридианов 74° и 76° в.д. в разрезах земной коры, выделены проводящие объекты, соответствующие ограничениям Ат-Башинской аккреционно-коллизонной зоны и Иссык-Кульского микроконтинента. Распределение сейсмических скоростей v_p , полученное по методу обменных волн землетрясений (МОВЗ) вдоль трансекта MANAS (2007 г.), в сопоставлении с геоэлектрической моделью для Ат-Башинской аккреционно-коллизонной зоны подтвердило предположение о том, что расположение и наклон крупных пластин (чешуй), а также способ и направление экзугмации эклогитов в этой зоне аналогичны наблюдаемым в Северо-Западном Китае. Данные петрологического анализа, термобарометрии и лабораторных исследований скоростей упругих волн нижнекоровых и верхнемантийных ксенолитов свидетельствуют о том, что поверхность Мохо на момент выноса ксенолитов около 70 млн л.н. располагалась на глубине около 35 км, в то время как ее современная глубина залегания составляет 55 км. Тепловой поток на поверхности за 70 млн лет уменьшился с 80 до 60 мВт/м².

Таким образом, основным выводом из сопоставления тектонической модели [Gao, Klemd, 2003] (см. рис. 2) с геофизическими является их геометрическое подобие в пределах разрешающей способности методов. Следовательно, треугольная область на геоэлектрической и сейсмической моделях (см. рис. 3), околтуренная глубинными разломами [Thompson et al., 2002], представляет собой Ат-Башинский коллизонно-аккреционный клин. Необходимо также отметить тот факт, что в геоэлектрических моделях, построенных по двум региональным профилям и удаленных друг от друга на 150 км, выделяется структура Иссык-Кульского микроконтинента, представляющая собой трапециевидную комбинацию электропроводящих структур.

Авторы благодарят академика Н.Л. Добрецова за постановку проблемы, М.М. Буслова, В.С. Симона и Н. Багдассарова за помощь в ее реализации.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 10-05-00572-а).

ЛИТЕРАТУРА

Баталев В.Ю. Глубинное строение и геодинамика западной части Киргизского Тянь-Шаня по данным магнитотеллурических и магнитовариационных зондирований: Автореф. дис. ... к.г.-м.н. Новосибирск, ОИГГМ СО РАН, 2001, 22 с.

Баталева Е.А., Рыбин А.К., Баталев В.Ю. Новые геофизические модели зоны сочленения Тарима и Тянь-Шаня // Проблемы сейсмологии в Узбекистане, 2008, № 5, с. 108—110.

Баталева Е.А., Рыбин А.К., Баталев В.Ю., Аладьев А.В. Особенности глубинной структуры зоны сочленения Тарима и Тянь-Шаня по геофизическим данным // Геодинамика внутриконтинентальных орогенов и геоэкологические проблемы. Сборник материалов Четвертого Международного симпозиума 15—20 июня 2008 г., Москва—Бишкек. М., 2009, с. 68—73.

Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И., Новиков Д.Б., Пастуцан В.В. Анализ и интерпретация магнитотеллурических данных. М., Изд-во Моск. ун-та, 1997, 161 с.

Буртман В.С. Геодинамика палеоокеанических бассейнов Тянь-Шаня, Памира и Тибета // Геодинамика внутриконтинентальных орогенов и геоэкологические проблемы. Сборник материалов Четвертого Международного симпозиума 15—20 июня 2008 г., Москва—Бишкек. М., 2009, с. 45—52.

Добрецов Н.Л. Эволюция метаморфизма и корообразующих процессов в истории Земли // Проблемы эволюции геологических процессов. Новосибирск, Наука, 1981, с. 104—109 (Тр. ИГГ СО АН СССР, вып. 517).

Добрецов Н.Л., Бакиров А.Б., Лаврентьев Ю.Г., Усова Л.В. Эклогиты Атбашинского хребта, Тянь-Шань // Докл. АН СССР, 1974, т. 215, № 3, с. 677—680.

Дучков А.Д., Шварцман Ю.Г., Соколова Л.С. Глубинный тепловой поток Тянь-Шаня: достижения и проблемы // Геология и геофизика, 2001, т. 42 (10), с. 1516—1531.

Макаров В.И. Новейшая тектоническая структура Центрального Тянь-Шаня. М., Наука, 1977, 171 с.

Макаров В.И., Трапезников Ю.А., Сквородкин Ю.П., Гусев Т.В., Мишин А.В. Современные деформации земной коры под влиянием глобальных и региональных процессов // Современные изменения в литосфере под влиянием природных и антропогенных факторов. М., Недра, 1996, с. 7—50.

Макаров В.И., Щелочков Г.Г., Рыбин А.К., Павленкин А.Д., Рослов Ю.В., Мунирова Л.М., Алексеев Д.В., Леонов М.Г., Рёкер С.В. Поддвиг Тарима под Тянь-Шань и их глубинная структура по данным сейсмических исследований вдоль профиля MANAS (Кашгар—Сонкёль) // Тектоника и геодинамика складчатых поясов и платформ фанерозоя: материалы XLIII тектонического совещания. Т. 2. М., ГЕОС, 2010а, с. 11—15.

Макаров В.И., Алексеев Д.В., Баталев В.Ю., Баталева Е.А., Беляев И.В., Брагин В.Д., Дергунов Н.Т., Ефимова Н.Н., Леонов М.Г., Мунирова Л.М., Павленкин А.Д., Рёкер С.В., Рослов Ю.В., Рыбин А.К., Щелочков Г.Г. Поддвиг Тарима под Тянь-Шань и глубинная структура зоны их сочленения: основные результаты сейсмических исследований по профилю MANAS (Кашгар—Сонкёль) // Геотектоника, 2010б, № 2, с. 23—42.

Симонов В.А., Сакиев К.С., Волкова Н.И., Ступаков С.И., Травин А.В. Условия формирования экологитов Атбашинского хребта (Южный Тянь-Шань) // Геология и геофизика, 2008а, т. 49 (11), с. 1067—1083.

Симонов В.А., Миколайчук А.В., Рассказов С.В., Ковязин С.В. Мел-палеогеновый внутриплитный магматизм Центральной Азии: данные по базальтам Тянь-Шаня // Геология и геофизика, 2008б, т. 49 (7), с. 689—705.

Рёкер С. Земная кора и верхняя мантия Киргизского Тянь-Шаня по результатам предварительного анализа GHENGIS широкополосных сейсмических данных // Геология и геофизика, 2001, т. 42 (10), с. 1554—1565.

Рыбин А.К. Глубинные электромагнитные зондирования в Центральной части Киргизского Тянь-Шаня: Автореф. дис. ... к.ф.-м.н. М., ИФЗ РАН, 2001, 20 с.

Рыбин А.К. Магнитотеллурические и сейсмические исследования по трансекту MANAS // Вест. ВГУ. Сер. Геология, 2010, № 1, с. 218—228.

Рыбин А.К., Баталев В.Ю., Щелочков Г.Г., Баталева Е.А., Сафронов И.В., Черненко Д.Е. На пути построения трехмерной геоэлектрической модели земной коры и верхней мантии Тянь-Шаня // Материалы Второго Международного симпозиума «Геодинамика и геоэкологические проблемы высокогорных регионов», Москва—Бишкек. М., 2003, с. 164—179.

Рыбин А.К., Баталев В.Ю., Баталева Е.А., Матюков В.Ю. Магнитотеллурические свидетельства глубинных геодинамических условий в зоне сочленения Южного Тянь-Шаня и Тарима // Записки Горного института, 2009, т. 183, с. 272—276.

Современная геодинамика областей внутриконтинентального коллизионного горообразования (Центральная Азия) / Ред. В.И. Макаров. М., Научный мир, 2005, 400 с.

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.

Abdrakhmatov K.Y., Aldazhanov S.A., Hager V.H., Hamburger M.W., Herring T.A., Kalabaev K.B., Kalabayev K.B., Makarov V.I., Molnar P., Panasyuk S.V., Prilepin M.T., Reilinger R.E., Sadybakasov I.S., Souter B.J., Trapeznikov Y.A., Tsurkov V.Y., Zubovich A.V. Relatively recent construction of the Tien Shan inferred from GPS measurements of present-day crustal deformation rates // Nature, 1996, v. 384, № 6608, p. 450—453.

Bagdassarov N., Batalev V., Egorova V. State of lithosphere beneath Tien Shan from petrology and electrical conductivity of xenoliths // J. Geophys. Res., 2011, v. 116, B01202, doi:10.1029/2009JB007125.

Batalev V.Yu., Egorova V.V., Simonov V.A., Litasov Yu.D., Bagdassarov N. Plume magmatism and mantle xenoliths of the South Tien Shan // Large igneous provinces of Asia, mantle plumes and metallogeny. Abstracts of the international symposium. Novosibirsk, Sibprint, 2009, p. 43—44.

Batalev V., Bataleva E., Rybin A. Xenolith constrains on conductivity of the Tarim-Tien Shan junction zone // Electromagnetic soundings: theory and applications: Proceedings of the International Workshop in memory of M.N. Berdichevsky and P. Weidelt. Moscow, 2010, p. 67—71.

Bataleva E., Rybin A., Batalev V., Matyukov V. Models of fluid saturated zones according to magnetotelluric and seismic data on Tien-Shan crust and mantle along transect MANAS EGU General Assembly 2009 // Geophys. Res. Abstracts. 2009, v. 11. EGU2009-543.

Bielinski R.A., Park S.K., Rybin A., Batalev V., Jun S., Sears C. Lithospheric heterogeneity in the Kyrgyz Tien Shan imaged by magnetotelluric studies // Geophys. Res. Lett., 2003, v. 30, № 15, 1806, doi:10.1029/2003GL017455.

Buslov M.M., De Grave J. Seismic hazard in Tien Shan: basement structure control over the deformation induced by Indo-Eurasia collision // Tectonics / Ed. D. Closson. 2011, p. 199—224.

Buslov M.M., Klerkx J., Abdarakhatov K., Delvaux D., Batalev V.Yu., Kuchai O.A., Dehandschutter B., Muraliev A. Recent strike-slip deformation of the northern Tien-Shan // Intraplate strike-slip deformation belts / Eds. F. Stori, R.E. Holdsworth, F. Salvini. London, Geol. Soc., 2003, Special Publication, v. 210, p. 53—64.

Buslov M.M., De Grave J., Bataleva E.A. Cenozoic tectonics and geodynamic evolution of the Tien Shan mountain belt // Himalayan J. Sci., 2004, v. 2, p. 106—107.

Buslov M.M., De Grave J., Bataleva E.A., Batalev V.Yu. Cenozoic tectonics and geodynamics in the Tien Shan: synthesis of geology and geophysical data // J. Asian Earth Sci., 2007, v. 29, p. 205—214.

Gao J., Klemd R. Formation of HP-LT rocks and their tectonic implications in the western Tianshan Orogen, NW China: geochemical and age constraints // Lithos, 2003, v. 66, p. 1—22.

Glorie S., De Grave J., Buslov M.M., Elburg M.A., Stockli D.F., Gerdes A., Van den Haute P. Multi-method chronometric constraints on the evolution of the Northern Kyrgyz Tien Shan granitoids (Central Asian Orogenic Belt): from emplacement to exhumation // J. Asian Earth Sci., 2010, v. 38, p. 131—146.

Meijun Li, Tieguan Wang, Jianfa Chen, Faqi He, Lu Yun, Sadik Akbar, Weibiao Zhang. Paleo-heat flow evolution of the Tabei Uplift in Tarim Basin, northwest China / J. Asian Earth Sci., 2010, v. 37, p. 52—66.

Tagiri M., Yano T., Bakirov A., Nakajima T., Uchiumi S. Mineral parageneses and metamorphic P-T paths of ultrahigh-pressure eclogites from Kyrgyzstan Tien-Shan // The Island Arc, 1995, v. 4, p. 280—292.

Thompson S.C., Weldon R.J., Rubin C.M., Abdarakhatov K.Y., Molnar P., Berger G.W. Late Quaternary slip rates across the central Tien Shan, Kyrgyz Republic, Central Asia // J. Geophys. Res., 2002, v. 10, 1029/2001JB000596.

*Поступила в редакцию
11 апреля 2011 г.*