

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

НАУЧНАЯ СТАНЦИЯ РАН В г. БИШКЕКЕ

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

RESEARCH STATION OF RAS IN BISHKEK

A.K. Rybin

**DEEP STRUCTURE AND RECENT
GEODYNAMICS OF THE CENTRAL
TIEN SHAN BY MAGNETOTELLURIC
RESEARCH RESULTS**

MOSCOW
SCIENTIFIC WORLD
2011

А.К. Рыбин

**ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ
И СОВРЕМЕННАЯ ГЕОДИНАМИКА
ЦЕНТРАЛЬНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ
МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

МОСКВА
НАУЧНЫЙ МИР
2011

УДК 550.372, 550.837

ББК 26.2

Р93

Рецензенты:

акад. РАН *Ю.Г. Леонов*

чл.-корр. РАН *П.С. Мартышко*

д. г.-м. н. *В.И. Макаров*

Рыбин А.К.

Р93

ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ И СОВРЕМЕННАЯ ГЕОДИНАМИКА ЦЕНТРАЛЬНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ. – М.: Научный мир, 2011. – 232 с., цв. вкл. – 24 с.

ISBN 978-5-91522-251-8

Монография посвящена различным аспектам исследования глубинной геоэлектрической структуры литосферы Центрального Тянь-Шаня на основе результатов магнитотеллурических и магнитовариационных зондирований, выполненных в регионе силами Научной станции РАН. Большое внимание уделено методическим особенностям применения магнитотеллурического метода в качестве геофизического инструмента для изучения глубинного строения земной коры и верхней мантии сложнопостроенного высокогорного региона. Детально исследованы распределения электромагнитных свойств литосферы Центрального Тянь-Шаня вдоль двух опорных комплексных геотраверсов NARYN и MANAS, пересекающих в субмеридиональном направлении весь горный пояс с выходом на Казахский щит и Таримскую плиту, и ряда отдельных локальных зон, представляющих собой ключевые элементы современной геодинамической системы Тяньшанского орогена. Отдельный раздел посвящен анализу результатов сопоставления геоэлектрических построений с комплексом геофизических, геодезических и сейсмологических данных, полученных в регионе. Рассмотренные в монографии модели электропроводности земной коры и верхней мантии дают новый материал для построения концепций развития современных геодинамических процессов, протекающих в недрах сейсмоактивных регионов на Земле.

Для геофизиков, геологов, специалистов в области комплексной геодинамической интерпретации геофизических данных, а также для студентов и аспирантов геофизической специальности.

Издание осуществлено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (государственный контракт № 02.740.11.0730).

The monograph covers different aspects of studying deep geoelectric structure of Central Tien Shan lithosphere on the basis of results of magnetotelluric and magnetovariational soundings carried out in the region by the Research Station RAS. Much attention is devoted to methodical features of applying magnetotelluric method as a geophysical instrument to study deep structure of the Earth's crust and upper mantle of complex-structured high-mountain region. Distributions of electromagnetic properties of Central Tien Shan lithosphere along the two complex geophysical profiles NARYN and MANAS which cross in submeridional direction the whole mountain belt going out to Kazakh Shield and Tarim Plate, and a series of local zones which represent key elements of modern geodynamic system of Tien Shan orogen were studied in detail. A separate part covers the analysis of results of comparing geoelectric constructions with a complex of geophysical, geodetic and seismological data received in the region. The models of electroconductivity of the Earth's crust and upper mantle considered in the monograph give new material to construct concepts of development of modern geodynamic processes occurring in the depths of the Earth's seismic regions.

For geophysicists, geologists, experts in complex geodynamic interpretation of geophysical data as well as for students and postgraduate students majoring in geophysics.

ISBN 978-5-91522-251-8

© Рыбин А.К., 2011

© Научный мир, 2011

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	7
Глава 1. Геолого-геофизическая характеристика и изученность Центрального Тянь-Шаня	16
1.1. Основные черты и особенности геолого-тектонического строения Центрального Тянь-Шаня	16
1.2. Геофизические исследования региона	26
1.3. Характеристика и распределение сейсмичности на территории Центрального Тянь-Шаня	48
Глава 2. Магнитотеллурический метод – геофизический инструмент изучения глубинного строения литосферы	61
2.1. Базовые понятия магнитотеллурики	61
2.2. Особенности методики проведения магнитотеллурических и магнитовариационных измерений в горных условиях с помощью различных типов аппаратуры	71
2.3. Методика обработки данных магнитотеллурических и магнитовариационных зондирований, полученных в Центральном Тянь-Шане	79
2.4. Развитие методики инверсии магнитотеллурических и магнитовариационных данных, полученных в Центральном Тянь-Шане	87
Глава 3. Региональная геоэлектрическая модель Центрального Тянь-Шаня (геотраверсы «NARYN» и «MANAS»)	98
3.1. Комплекс электромагнитных зондирований на геотраверсе «NARYN»	98
3.2. Построение двумерной региональной модели «NARYN-RLM»	100
3.3. Региональная геоэлектрическая модель «NARYN-INV2D»	105
3.4. Геоэлектрическая структура вдоль геотраверса «MANAS»	117

3.5. Природа коровой проводимости литосферы Центрального Тянь-Шаня	130
Глава 4. Использование геоэлектрических моделей для изучения локальных зон земной коры	136
4.1. Северо-Тяньшанская сейсмогенерирующая зона (территория Бишкекского геодинамического полигона)	136
4.2. Иссык-Атинский участок Северо-Тяньшанской разломной зоны	157
4.3. Зона Таласо-Ферганского разлома	162
4.4. Предтерсейская региональная зона активных современных дислокаций и Южно-Кочкорский разлом	166
4.5. Зона сочленения Центрального Тянь-Шаня и Тарима	170
Глава 5. Результаты геоэлектрических построений в сопоставлении с комплексом геофизических, геодезических и сейсмологических данных, полученных в регионе	177
5.1. Сравнительный анализ сейсмических разрезов МОВ-ОГТ и геоэлектрических разрезов МТЗ по геотраверсу «MANAS»	177
5.2. О связи поля современных деформаций и глубинной структуры электропроводности Центрального Тянь-Шаня по данным GPS и МТЗ	185
5.3. Геоэлектрические неоднородности земной коры Северного Тянь-Шаня и распределение сейсмичности	199
Заключение	214
Литература	216

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время магнитотеллурика является одним из ведущих разделов общей и прикладной геофизики. Рассматриваемые в работе результаты магнитотеллурических исследований опираются, в первую очередь, на комплексное использование метода магнитотеллурического зондирования (МТЗ) и метода магнитовариационного зондирования (МВЗ). С помощью этих методов можно получить уникальную информацию о состоянии земных недр и протекающих в них геодинамических процессах.

Тянь-Шань является одним из лучших объектов для изучения процессов, влияющих на внутриконтинентальное горообразование. Геодинамика этой горной области охватывает широкий круг вопросов, которые могут быть успешно решены только путем мультидисциплинарных научных исследований геологической истории, глубинной структуры, динамики и кинематики деформаций земной коры, сейсмологии. Инструментальные исследования в широком спектре геолого-геофизических методов стали активно проводиться в регионе начиная с 90-х годов прошлого столетия. С 2001 г. они объединены в рамках выполняемой программы «Геодинамика и геоэкологические проблемы высокогорного Тянь-Шаня» под эгидой Международного научно-исследовательского центра – Геодинамического полигона, созданного на базе Научной станции РАН в г. Бишкеке (НС РАН) и координирующего геодезические (GPS) и гравиметрические измерения, сейсмотомографию, сейсмический мониторинг, а также магнитотеллурические наблюдения. В разработке этой программы принимали участие ученые и специалисты из России, Киргизии и США. В рамках программы предполагается продолжить исследования следующих взаимосвязанных проблем геодинамики Центральной Азии:

1. Геодинамика новейшего внутриконтинентального горообразования
2. Напряженно-деформированное состояние и глубинное строение литосферы Тянь-Шаня
3. Сейсмотектонические, геоэкологические и инженерно-геологические аспекты новейшей тектоники и современной геодинамики Тянь-Шаня

Такие комплексные исследования, имеющие как теоретический (неотектоника), так и практический аспект (прежде всего, предупреждение угрозы землетрясений), направлены в целом на решение наиболее масштабной геодинамической задачи – определения основной движущей силы, ответственной за орогенез, и ее эволюции [Современная геодинамика..., 2005].

Глубинная магнитотеллурика и геоэлектрика, изучающая неоднородности в распределении электропроводности коры и верхней мантии, вносит существенный вклад в понимание тектонического строения, флюидного и термального режимов недр. Геоэлектрические образы строения глубинных горизонтов позволяют проследживать разломные зоны, диагностировать области повышенной пористости и флюидонасыщенности (в том числе частичного плавления) и тем самым налагают дополнительные ограничения на решения геодинамических гипотез, предлагаемые другими методами. Особая роль геоэлектрики обусловлена присущими ей возможностями большего разрешения глубинной структуры по сравнению с сейсмотомографическими или же сейсмическими исследованиями.

К середине 90-х годов прошлого века силами сотрудников Научной станции РАН, главным образом, с применением отечественной измерительной аппаратуры ЦЭС-2, были выполнены магнитотеллурические (МТ) и магнитовариационные (МВ) зондирования по системе 5 геотраверсов, секущих Тяньшанский ороген в крест его простирания. С помощью трехуровневого алгоритма инверсии магнитотеллурических данных с опорой на мало искаженные приповерхностными неоднородностями магнитовариационные параметры были построены первые геоэлектрические модели вдоль пройденных геотраверсов [Трапезников и др., 1997]. При этом была показана возможность квазидвумерной интерпретации данных по отдельным профилям на фоне региональной смены простирания геоэлектрических структур от широтного направления в центральной части изучаемой области – к субширотному (80–260°) на востоке. В результате были выявлены основные черты глубинного распределения электропроводности: намечены субвертикальные проводящие зоны, связанные с глубинными разломами, и практически повсеместно присутствующий на глубинах 30–50 км слой повышенной проводимости, нарастающей в южном направлении. Обнаружена корреляция коровых проводников с зонами пониженных сейсмических скоростей, выявляемых сейсмотомографией [Roesker et al., 1993], и сделано предположение об их флюидной природе.

Однако концепция программы исследований «Геодинамика и геоэкологические проблемы высокогорного Тянь-Шаня» потребовала новых шагов по созданию эффективного комплекса зондирований, способного обеспечить разрешение аномальных объектов как в верхах разреза, так и на нижнекоровых и верхнемантийных глубинах региона Тяньшанского орогена. В результате, на рубеже 2000-х годов, благодаря сотрудничеству российских и американских геофизиков [Bielinski et al., 2000], с помощью измерительной аппаратуры нового поколения были накоплены первые коллекции длиннопериодных синхронных электромагнитных данных и для их интерпретации привлечены современные методики анализа [Рыбин 2001; Баталев, 2002; Bielinski et al., 2003; Sokolova and «Naryn WG», 2005], что определило начало нового этапа в изучении геоэлектрического строения региона.

Особый интерес на этом этапе исследований связан с определением возможностей современной магнитотеллурики для адекватного восстановления в рамках двумерного (профильного) подхода структуры глубинной электропроводности такого сложно построенного, однако характеризующегося доминирующим простиранием объекта, каким является новейший (позднекайнозойский) ороген Тянь-Шаня. При этом существовало ясное понимание, что в данном регионе придется работать в гораздо более тяжелых условиях квазидвумерности по сравнению с опытом «классической» интерпретации подобного рода, приобретенном, например, в областях активных или пассивных континентальных окраин [Варенцов и др., 1996; Ваньян и др., 2002].

Объектом исследования, представленного в данной монографии, является глубинная геоэлектрическая структура Центрального Тянь-Шаня на различных пространственных масштабных уровнях, определяемая по результатам выполненных силами Научной станции РАН магнитотеллурических (МТЗ) и магнитовариационных (МВЗ) зондирований в регионе и анализируемая на предмет отражения современных геодинамических процессов, протекающих в земной коре и верхней мантии региона.

Основной целью работы является структурная и геодинамическая интерпретация обширного комплекса данных магнитотеллурических и магнитовариационных зондирований, выполненных силами Научной станции РАН за последние 25 лет на территории Тяньшанского региона и построение надежной геоэлектрической модели региона.

Работа восполняет пробел в геоэлектрической изученности земной коры и верхней мантии Тяньшанского региона, отвечающей уровню современных возможностей изучения глубинного строения с помощью магнитотеллурического и магнитовариационного методов. Детально исследованы распределения электромагнитных свойств земной коры Центрального Тянь-Шаня вдоль двух опорных комплексных геотраверсов NARYN и MANAS, пересекающих в субмеридиональном направлении весь горный пояс с выходом на Казахский щит и Таримскую плиту, и ряда отдельных локальных зон, представляющих собой ключевые элементы современной геодинамической системы Тянь-Шаня, и поэтому наиболее интересных с точки зрения понимания их глубинной структуры и протекающих процессов.

Автором систематизированы и обобщены результаты глубинных электромагнитных исследований на основе обширного экспериментального материала, полученного в Тяньшанском регионе с помощью методов МТЗ и МВЗ.

Рассмотренные в монографии модели электропроводности земной коры и мантии дают новый материал для построения концепций развития современных геодинамических процессов, протекающих в недрах сейсмоактивных регионов на Земле. Так, присутствие электропроводящих образований в коре свидетельствует об определенном виде минерализации, графитизации, дегидратации или частичном плавлении горных пород, интенсивных тектонических перемещени-

ях блоков, о соответствующих давлениях и температурах, сопровождающих этот процесс, развитии ослабленных зон и т.п. Очевидно, что изучение глубинной электропроводности существенно расширяет возможности тектонических и минарагенических исследований.

Монография состоит из пяти глав.

В **первой** главе, носящей обзорный характер, представлен развернутый геолого-тектонический очерк центрального сегмента Тянь-Шаня. В первой части очерка кратко рассматривается комплекс разновозрастных более или менее древних формаций и структур, которые предшествовали новейшему горообразованию и стали фундаментом горного пояса в целом и отдельных его форм (поднятий-хребтов и опусканий-впадин). Вторая часть очерка посвящена комплексу новейших тектонических структур и связанных с ними отложений так называемого новейшего орогенического комплекса, именуемых также осадочным покровом или чехлом.

Далее в главе приведен краткий обзор основных результатов выполненных в последние годы геофизических исследований Тянь-Шаня. Кратко рассмотрены история создания и отдельные моменты исследовательской деятельности геодинамического полигона в горах Тянь-Шаня, функционирующего на базе Научной станции РАН в г. Бишкеке (НС РАН), и Международного научно-исследовательского центра (МНИЦ-ГП). Глава завершается региональными обзорами геоэлектрической изученности, распределения теплового потока и температур, результатов геомагнитных наблюдений, данных гравиметрии, трехмерных сейсмотомографических построений и материалов сейсморазведочных работ.

В третьей части главы рассматриваются результаты анализа распределения сейсмичности на территории Тянь-Шаня. Приведены данные как о сильных, так и о слабых землетрясениях. Пространственное распределение сейсмичности региона оценивается с помощью карты плотности эпицентров землетрясений. Дополнительно для анализа сейсмичности и сейсмического режима исследуемой территории рассмотрено площадное распределение величин наклона графика повторяемости и вариаций сейсмической активности. Приведены данные о распределении глубин очагов землетрясений в пределах рассматриваемого региона. Отдельно рассмотрен вопрос, отражающий развитие взглядов на проблему объяснения природы сейсмической активности Тянь-Шаня.

Отметим, что многие обсуждаемые в данной главе вопросы, которые по территориальному признаку должны быть отнесены к объекту исследования – центральной части Тянь-Шаня, не могут быть рассмотрены в отрыве от характеристик всего Тяньшанского горного пояса.

Во **второй** главе рассматриваются базовые понятия и особенности магнитотеллурического метода в качестве геофизического инструмента для изучения глубинного строения литосферы Тянь-Шаня. **Раздел 2.1** представляет собой краткий экскурс в теоретические основы магнитотеллурики. Здесь формулируется *магнитотеллурическая задача* и рассматривается вопрос о существовании и природе линейных алгебраических соотношений между горизонтальными компонентами

электромагнитного поля в неоднородных средах, лежащими в основе определения основной функции отклика МТЗ – тензора импеданса [Бердичевский, Дмитриев, 1992]. Кратко обсуждаются два подхода к магнитотеллурической задаче: интегральный и локальный. Примером локального подхода является *магнитотеллурическое зондирование*, использующее алгебраические соотношения между тангенциальными компонентами электрического и магнитных полей в отдельных точках земной поверхности для определения операторов Тихонова-Каньяра. В *разделе 2.2* отмечаются особенности методики проведения магнитотеллурических и магнитовариационных зондирований в горных условиях Тянь-Шаня с помощью различных типов измерительной аппаратуры. В *разделе 2.3* дается обзор методик обработки полевых материалов магнитотеллурических и магнитовариационных наблюдений, полученных в Тяньшанском регионе. В обзоре рассматриваются реализованная автором модификация программного комплекса ЭПАК [Рыбин, 2001] и процедуры обработки полевых данных, регистрируемых с помощью аппаратуры Феникс MTU-5. Анализируются точностные характеристики получаемых с помощью станций MTU-5 электромагнитных параметров. Детально обсуждается вопрос количественной оценки смещения элементов тензора импеданса на основе критерия когерентности. Сложные геоэлектрические условия горного Тянь-Шаня потребовали оригинального подхода к разработке методики построения глубинной модели по данным МТЗ-МВЗ, основные элементы такого подхода рассматриваются в *разделе 2.4*.

В *третьей* главе представлены результаты построения региональной геоэлектрической модели Центрального Тянь-Шаня, полученной на основе анализа и количественной интерпретации материалов магнитотеллурических и магнитовариационных зондирований, выполненных силами сотрудников Научной станции РАН по геотраверсам «NARYN» и «MANAS». В *разделе 3.1* анализируется комплекс МТ-МВ зондирований на геотраверсе «NARYN», секущем Тяньшанский регион от оз. Балхаш до Таримской плиты вдоль меридиана 76° . В результате выполнения такого комплекса зондирований получен многокомпонентный ансамбль оценок передаточных операторов (импеданса, типпера и горизонтального МВ-отклика), сформированный в сводном диапазоне периодов 0.1–16384 с и подлежащий дальнейшей интерпретации. В *разделах 3.2* и *3.3* подробно рассмотрено построение двумерной интерпретационной модели геотраверса «NARYN» с использованием различных подходов при решении обратной задачи электромагнитного зондирования. Первая модель «NARYN-RLM» получена в результате выполнения инверсии в классе дискретных сглаженных структур и представляет собой результат общей (параллельной) инверсии, включающей одновременно все используемые характеристики магнитотеллурического поля. Вторая модель «NARYN-INV2D» построена в классе кусочно-непрерывной (блочной) среды с применением подхода последовательности частичных инверсий, включающей по очереди различные характеристики поля. В *разделе 3.4* рассматривается построение двумерной региональной геоэлектрической модели вдоль геофизичес-

кого трансекта «MANAS», расположенного на территории Киргизии и Китая и пересекающего Центральный Тянь-Шань по меридиану в полосе $75\text{--}76^\circ$ в.д. В *разделе 3.5* обсуждаются вопросы, связанные с объяснением природы электропроводности земной коры и верхней мантии Тянь-Шаня. Здесь делается вывод о тектонической расслоенности в средней–нижней коре Тянь-Шаня, что обеспечивает необходимые условия для повышения пористости среды. В таких условиях высокая проводимость достигается, только если трещины заполнены хорошо проводящими водными растворами и являются сквозными. Рассматриваются два возможных источника появления свободной воды в трещинно-поровом пространстве земной коры Тянь-Шаня.

В *четвертой* главе в *разделе 4.1* рассматриваются результаты площадного магнитотеллурического профилирования Северо-Тяньшанской сейсмогенерирующей зоны, расположенной на территории Бишкекского геодинамического полигона (БГП). Территория Бишкекского геодинамического полигона включает в себя большую часть Чуйской впадины и северного склона Киргизского хребта и ограничена простиранием на расстояние около 150 км. В результате проведения полевых измерений точность определения МТ передаточных функций в большинстве из 145 выполненных зондирований составляет 1–2% по модулю и около 0.5–0.8 градуса по фазе. На основе первоначального анализа массива измеренных данных с целью оценки геоэлектрической размерности среды сделан вывод, указывающий на суперпозицию локальных трехмерных структур и региональной двумерной структуры в земной коре исследуемой территории БГП. С помощью инверсии нормализованных продольных амплитуд кажущегося сопротивления и исходных фаз импеданса построены квазидвумерные геоэлектрические разрезы вдоль линии каждого из 6 профилей исследования. В *разделе 4.2* рассматривается построение геоэлектрической модели для одной из наиболее активных краевых надвиговых зон Тянь-Шаня – Иссык-Атинского участка Северо-Тяньшанской системы разломов. Впервые доказана возможность исследования надвиговых структур в орогенных областях с помощью магнитотеллурических методов. В результате анализа геоэлектрического профильного разреза в исследуемом районе Иссык-Атинского участка Северо-Тяньшанской разломной зоны выявлено умеренно-пологое залегание плоскости надвига, подворот основания и частичное тектоническое перекрытие впадины. В *разделе 4.3* рассматриваются особенности геоэлектрических структур земной коры зоны Таласо-Ферганского разлома. В результате двумерной инверсии данных МТЗ-МВЗ по серии локальных профилей, секущих зону Таласо-Ферганского разлома, во всех полученных сечениях в верхней части наблюдается высокоомное тело шириной от 9 до 20 км, ограниченное с северо-восточной стороны субвертикальным, а с юго-западной стороны наклонным проводящими каналами от средне-нижнекорового проводника к поверхности. В нижней коре в зоне, прилегающей к Таласо-Ферганскому разлому со стороны Западного Тянь-Шаня, определяется наклонный проводящий слой, выполаживающийся на глубине 30–35 км. В *разделе 4.4* представлены на-

учно-практические результаты изучения с помощью МТ-профилирования структуры зоны надвигания палеозойского основания хребта Терской Ала-Тоо на кайнозойские отложения Кочкорской впадины в районе Южно-Кочкорского краевого разлома. В полученном геоэлектрическом разрезе отчетливо проявляется проводящая область в диапазоне высот 400–1900 м с удельным сопротивлением менее 100 Ом·м, находящаяся ниже 500-метрового слоя с сопротивлением, превышающим 100–300 Ом·м. Предполагается, что эта зона пониженного сопротивления представлена неогеновыми осадочными отложениями, погребенными под палеозоем фронтальной части хребта. Горизонтальная амплитуда надвига здесь может составлять 3–3.5 км. В последнем *разделе (4.5)* этой главы представлены результаты детального магнитотеллурического и магнитовариационного профилирования на южном 140-километровом сегменте геофизического трансекта «MANAS». Построена двумерная геоэлектрическая модель, характеризующая слоисто-блоковую структуру литосферы в зоне сочленения Центрального Тянь-Шаня и северного борта Таримской плиты. Выявлены низкоомные зоны разупрочнения, предположительно связанные с пододвиганием Тарима под Тянь-Шань. Выделены геоэлектрические неоднородности разреза, указывающие на коровый масштаб современных деформаций в самом Таримском блоке.

В *пятой* главе приводятся результаты сопоставления геоэлектрических построений с комплексом геофизических, геодезических и сейсмологических данных, полученных в регионе. В *разделе 5.1* выполнен сравнительный анализ комплексного сейсмического разреза и геоэлектрического разреза МТЗ по геотранверсу «MANAS». Рассматривается построение комплексного сейсмического разреза на основе результатов обработки профильных сейсмических материалов МОБ-ОГТ, МОБЗ и сейсмотомографии [Щелочков и др., 2009; Макаров и др., 2010]. Приводятся результаты сопоставления сейсмического разреза с геоэлектрическим разрезом, построенным по результатам двумерной инверсии данных МТЗ. В *разделе 5.2* рассмотрены деформации земной коры Центрального Тянь-Шаня, полученные методом расчета двумерного регионального поля деформации по результатам наблюдений средствами глобальной космической геодезии (GPS). Обсуждаются результаты совместного анализа рассчитанного поля деформации с параметрами глубинного геоэлектрического разреза Центрального Тянь-Шаня вдоль профиля «NARYN» (модель «NARYN-INV2D»). Количественно оценивается корреляция между значениями 2D-деформации на поверхности и интегральной проводимостью литосферы в исследуемом сечении региона. В *разделе 5.3* сделана попытка исследования взаимосвязи параметров геоэлектрических неоднородностей земной коры, выявленных в результате выполненного в последние годы детального магнитотеллурического профилирования, с пространственным распределением современных сильных землетрясений (энергетического класса $K > 10$) в сейсмоактивной зоне Северного Тянь-Шаня (территория БГП). На основе данных детальных магнитотеллурических зондирований построены двумерные геоэлектрические модели вдоль линии двух профилей, расположенных в западном и

восточном сегментах зоны БГП и пересекающих выходы на поверхность Исык-Атинского и Шамси-Тюндюкского региональных разломов. Далее в разделе приведены результаты совместного анализа профильных геоэлектрических разрезов и распределения поля гипоцентров землетрясений энергетического класса $K > 10$, произошедших на территории БГП в период 1994–2008 гг. Результаты, представленные в монографии, являются одним из итогов многолетней деятельности геодинамического полигона – Научной станции РАН в г. Бишкеке – организатором, вдохновителем и бессменным руководителем которого был Юрий Андреевич Трапезников. К великому сожалению, сейчас его нет с нами... Для автора Юрий Андреевич был и остается образцом творческой личности с феноменальными способностями научного организатора, руководителя и исследователя, а главное – человеком, который все свои силы и возможности сконцентрировал и подчинил бескомпромиссному служению науке.

Благодарности

Автор выражает глубочайшую признательность и благодарность своему учителю и научному руководителю – профессору МГУ Марку Наумовичу Бердичевскому за постоянное внимание, участие и поддержку комплекса глубинных электромагнитных исследований, выполняемых Научной станцией РАН в Тяньшанском регионе. К величайшему сожалению, Марк Наумович ушел из нашей жизни в 2009 году. Во многом появление представляемой работы – это дань глубокого уважения к Марку Наумовичу как к ученому и желание продолжить магнитотеллурические исследования в горах Тянь-Шаня, к которым он относился так трепетно, с огромным научным интересом.

Особенно хочется выразить глубочайшую признательность академику Алексею Максимовичу Фридману за его ценные советы и помощь автору во время подготовки монографии. Автор также искренне благодарен Алексею Максимовичу за многолетнее творческое сотрудничество с Научной станцией РАН по многим направлениям исследований. Совсем недавно Алексея Максимовича не стало – это невосполнимая потеря для науки и для всех нас.

Во время выполнения исследования и в период написания работы автор получал постоянную поддержку и высококвалифицированную помощь по многим возникающим вопросам от доктора физико-математических наук В.В. Спичака, которому автор выражает глубочайшую признательность.

Автор считает своим приятным долгом поблагодарить доктора геолого-минералогических наук В.И. Макарова за оказанную поддержку и консультации.

За неформальную поддержку и внимание к тематике глубинных электромагнитных исследований автор особо признателен В.А. Зейгарнику и Г.Г. Щелочкову, которые вместе с Ю.А. Трапезниковым заложили «фундамент» геодинамических исследований в Тяньшанском регионе в лице Научной станции в г. Бишкеке, а после кончины Юрия Андреевича своим энтузиазмом и талантом руководителей

обеспечили эффективное и плодотворное функционирование Бишкекского полигона. Бесспорно и то, что без горячей моральной поддержки и вдохновляющего оптимизма Геннадия Григорьевича Щелочкова усилия автора по подготовке настоящей работы могли бы затянуться на годы.

Особую благодарность автор хотел бы выразить своим ближайшим коллегам: В.Ю. Баталеву, Е.А. Баталевой, И.М. Варенцову, Е.Ю. Соколовой. Тесное и неформальное сотрудничество с этими учеными на протяжении многих лет способствовало формированию и развитию творческого потенциала автора как исследователя и во многом предопределило появление на свет научных результатов, обсуждаемых в монографии. Автор искренне признателен всем своим коллегам по совместной работе, участвовавшим и помогавшим ему в организации и проведении геофизических исследований, результаты которых обсуждаются в данной работе: Ю.В. Антонову, Р. Белински, П.В. Ильичеву, Л.Н. Лосихину, В.И. Макарову, Е.К. Матюкову, В.Е. Матюкову, В.Н. Пазникову, С. Парку, П.П. Петрову, П.Ю. Пушкареву, Г.Н. Тимонину, Д.Е. Черненко.

Автор выражает искреннюю благодарность академику РАН Ю.Г. Леонову и чл.-кор. РАН П.С. Мартышко, прочитавшим рукопись и сделавшим ряд ценных замечаний.

Исследования, представленные в монографии, частично выполнялись при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 04-05-64970, 04-05-65103, 07-05-00594, 08-05-00716, 08-05-00875) и Министерства образования и науки РФ (государственный контракт № 02.740.11.0730).