

На правах рукописи

**БАТАЛЁВА Елена Анатольевна**

**ГЛУБИННАЯ СТРУКТУРА КРУПНЕЙШИХ РАЗЛОМНЫХ ЗОН  
ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КИРГИЗСКОГО ТЯНЬ-ШАНЯ И  
СОВРЕМЕННАЯ ГЕОДИНАМИКА  
(ПО ДАННЫМ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ ЗОНДИРОВАНИЙ)**

**25.00.03 – геотектоника и геодинамика**

**25.00.10 - геофизика, геофизические методы  
поисков полезных ископаемых**

**Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук**

*А. Баталёва*

**НОВОСИБИРСК  
2005**

*20.08.2005*

Работа выполнена в Научной станции Российской академии наук  
в г. Бишкеке

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук  
**Буслов Михаил Михайлович**

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук  
**Новиков Игорь Станиславович**  
кандидат геолого-минералогических наук  
**Неведрова Нина Николаевна**

Ведущая организация: Геофизическая служба СО РАН (г. Новосибирск).

Защита состоится **17 июня** 2005 г. в **15** час.  
на заседании диссертационного совета Д003.050.01 в Объединенном  
институте геологии, геофизики и минералогии СО РАН  
им. А.А. Трофимука, в конференц-зале.

Адрес: 630090, Новосибирск, 90, пр-т Ак. Коптюга, 3.  
Факс: (3832) 33-27-92

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИГГМ СО РАН.

Автореферат разослан **20 апреля** 2005 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат геол.-мин. наук \_\_\_\_\_  
, ^ (—-К.У''/^р-- \* Е.М. Высоцкий

**Объект исследования** - глубинная структура зоны Таласо-Ферганского разлома и Линии Николаева (Киргизский Тянь-Шань), определяемая на предмет отражения современных геодинамических процессов в морфологии региональных разломных зон, выделяемых по результатам глубинных электромагнитных зондирований (рис.1.).

Общепризнанно, что роль крупных разломных зон (сдвигов) в эволюции Тянь-Шаня является определяющей, однако и сейчас остается немало нерешенных задач о связи глубинного строения зон разломов и современной геодинамики. До недавнего времени использование методов магнитотеллурического зондирования (МТЗ) и магнитовариационного зондирования (МВЗ) для **детализации** глубинной структуры разломных зон было практически невозможно, поскольку:

- магнитовариационный метод использовался ограниченно, так как не была доказана теорема единственности решения обратной задачи МВЗ для двумерного случая,

- не существовало высокоточной измерительной аппаратуры, вследствие чего определений фаз импеданса и типперов с высоким качеством в необходимом объеме было недостаточно,

- методики интерпретации данных МТЗ, опирающиеся на фазы импеданса и типперы, то есть компоненты магнитотеллурического (МТ) поля, не подверженные статическим смещениям, были несовершенными,

- программные средства для инверсии компонент МТ-поля не позволяли создавать сложные модели распределения электропроводности геосреды, содержащие до 1000 оптимизируемых блоков сопротивления,

- отсутствовали детальные сейсмотомаграфические модели для комплексной интерпретации геофизических данных.

В настоящее время несомненный успех магнитотеллурики связан с техническим прогрессом, развитием информационных технологий, созданием новой полевой аппаратуры, позволяющей устойчиво определять магнитовариационные и магнитотеллурические характеристики, с разработкой новых программ для двумерной и трехмерной инверсии импедансов и типперов, совершенствованием и внедрением новых методик исследований. Возможности магнитотеллурического зондирования для решения задач о связи глубинного строения зон разломов и современной геодинамики значительны и требуют широкого его применения для изучения разломных структур активных регионов.

**Актуальность** исследования в целом определяется созданием новых нетрадиционных подходов для определения глубинного строения

разломных зон и земной коры, и в частности: применением магнитотеллурического метода в комплексе с другими методами геофизики и геологии, использованием новых информационных технологий, современной высокоточной аппаратуры, более совершенных методик. Изучение глубинного строения разломных зон дает ключ к пониманию характера тектонических движений, сейсмической активности, флюидного режима, локализации месторождений полезных ископаемых. Развитие геодинамических концепций невозможно без дополнительной информации о тектонике и физическом состоянии глубоких геосфер Земли, а магнитотеллурические зондирования в Тянь-Шанском регионе являются сравнительно недорогим методом, позволяющим получить информацию о распределении неоднородностей физических свойств литосферы до глубин более 100 км.

#### Цель исследования:

Адаптировать методику последовательных частичных инверсий для количественной интерпретации данных МТЗ-МВЗ к реальным условиям Тянь-Шаня, построить геодинамическую модель региона, используя в качестве базисного метода для определения глубинной структуры разломных зон магнитовариационное зондирование (МВЗ).

#### Научные задачи:

1. Детализировать геоэлектрическое строение земной коры части Киргизского Тянь-Шаня для выявления глубинной структуры зоны Таласо-Ферганского разлома и Линии Николаева.

2. Определить влияние геодинамических процессов на формирование активных структур Тянь-Шаня, отражающееся в глубинных геоэлектрических характеристиках и морфологии этих структур.

#### Задачи решались в несколько этапов:

- адаптация методики последовательных частичных инверсий, используемой М.Н. Бердичевским в модельных экспериментах (Бердичевский и др., 2003), для детализации и определения глубинного строения реальных разломных зон с применением новых программ Ю инверсии, разработанных И.М. Баренцевым и Н.Г. Голубевым (2002) и экспериментальных данных, полученных с помощью магнитотеллурического комплекса МТ-ПИК и Рьоешх МТ11-5.

- определение параметров коровых проводящих зон для южной части Таласо-Ферганского разлома и разломной зоны Линии Николаева.

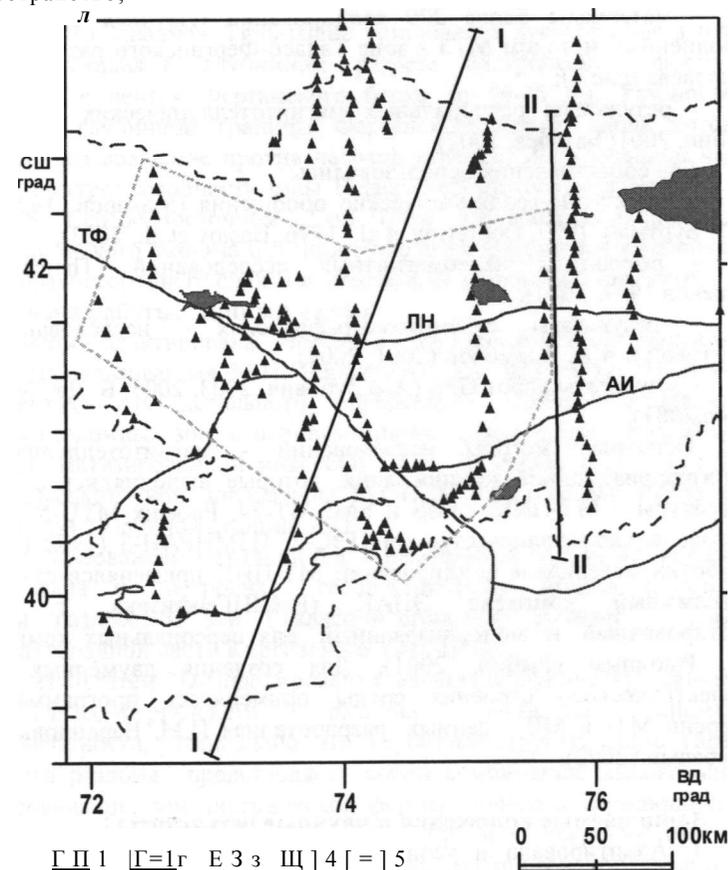
- построение глубинной геодинамической модели зоны Таласо-Ферганского разлома и Линии Николаева на основе корреляции геологических и геофизических данных.

- сопоставление полученной геодинамической модели с

результатами палеомагнитных исследований, данными ОР8, и сейсмотомографическими моделями данного региона.

#### Фактический материал, методы исследования и аппаратура

Теоретической основой решения задач магнитотеллурики является теория электромагнитной индукции, часть принципов которой заложена в модели Тихонова-Каньяра (в качестве источника рассматривается плоская электромагнитная волна, вертикально проникающая в слоистое полупространство;



**Рис. 1.** Схема геоэлектрической изученности центральной и южной части Киргизского Тянь-Шаня методом МТЗ: 1 - пункты МТЗ, 2 - граница Киргизстана, 3 - крупные разломы: ТФ- Таласо-Ферганский, ЛН- Линия Николаева, АИ- Атбаша-Иньльчекский, 4 - рассматриваемая в работе территория, 5 - положение профилей для рис. 4.

горизонтальные компоненты магнитного поля, возбуждаемые плоской волной, не должны изменяться вдоль земной поверхности), получившей дальнейшее развитие в работах Т.Маддена, М.Н. Бердичевского, Л.Л. Ваньяна, М.С. Жданова.

Последним достижением в развитии теоретических основ магнитотеллурики является теорема единственности решения обратной задачи МВЗ для двумерного случая, доказанная В.И. Дмитриевым (2003).

В основу модельных расчетов положены:

- материалы более 200 зондирований (Научная станция РАН), выполненных методом МТЗ в зоне Таласо-Ферганского разлома и Линии Николаева (рис. 1);

- результаты региональных магнитотеллурических исследований (Рыбин, 2001; Баталев, 2002).

Для сопоставления использовались:

- структурно-геодинамические обобщения (Макаров, 1977; Чедия, 1986; Буртман, 1987, Бобгейоу е\* al., 1996, Визлоу el al, 2003);

- результаты палеомагнитных исследований (Тьотаз, 1993), (Баженов 1997, 2004);

результаты сейсмотомографических исследований Т.М. Сабитовой и А.А. Адамовой (2001; 2004);

- результаты работ ОР8 (А.В.Зубович, 2003, 2005; Б. Дж. Миди, Б.Х. Хагер, 2001).

Основные методы исследований - магнитотеллурическое и магнитовариационное зондирования, которые выполнялись с помощью аппаратуры - МТ-ПИК, ЫМ8 и ЕМ1 МТ-24, Рьоешх МТО-5. В ранних работах использовались станции ЦЭС-2, ИЗМИРАН-5 (1982-1999). Для обработки материалов зондирований МТ-ПИК применялся стандартный программный комплекс ЭПАК (ВНИИГеофизика, г. Москва), адаптированный и модернизированный для персональных компьютеров А.К. Рыбиным (Рыбин, 2001). Для создания двумерных моделей геоэлектрического строения среды применялась программа IГШРР инверсии МТ- и МВ - данных, разработанная И.М. Варенцовым и Н.Г. Голубевым (2002).

### Защищаемые положения и научные результаты

1. Адаптирована и усовершенствована методика количественной интерпретации данных МТЗ-МВЗ по методу последовательных частичных инверсий для определения глубинного строения **реальных** разломных зон Тянь-Шаня. На этой основе рассчитаны двумерные модели геоэлектрического строения крупнейших разломных зон западной части Киргизского Тянь-Шаня.

2. Глубинная геоэлектрическая структура зоны Таласо-Ферганского разлома представляет собой комбинацию высокоомного ядра в центре и проводящих зон листрической формы, полого погружающихся к юго-западу от зоны ТФР до глубин 40-45 км и северо-востоку - до глубин 25-30 км.

Линия Николаева проявляется в виде комбинации двух круто погружающихся на юг электропроводящих зон, образующих на глубине 6-8 км единое тело.

3. В Юго-Западном Тянь-Шане установлена дугообразная в плане структура, имеющая в глубинном разрезе листрическую форму, с погружением к центру Ферганского блока до 40-45 км. Установлено соответствие глубинной границы Ферганского блока, вдоль которой происходит его вращение против часовой стрелки, юго-западной части аномалии электропроводности зоны Таласо-Ферганского разлома.

4. В Северо-Восточном Тянь-Шане электропроводящие зоны Таласо-Ферганского разлома и Линии Николаева формируют комбинацию структур правостороннего сдвига и оперяющих взбросовых структур.

### Новизна работы. Личный вклад

Автором адаптирована методика последовательных частичных инверсий (использованная М.Н. Бердичевским в модельных численных экспериментах) для детального определения глубинного строения **реальных** разломных зон, с использованием современных программных средств автоматизированной инверсии (И.М. Варенцов и Н.Г. Голубев, 2002), и высокоточной аппаратуры МТ-ПИК для полевых измерений, разработанной в Научной станции РАН.

С использованием методики последовательных частичных инверсий детализирована и построена геоэлектрическая модель глубинной структуры разломных зон (Таласо-Ферганского разлома и Линии Николаева) западной части Киргизского Тянь-Шаня.

По результатам 20-моделирования магнитотеллурических данных в зоне Таласо-Ферганского разлома выявлена аномалия электропроводности, установлено, что глубинная структура зоны Таласо-Ферганского разлома представляет собой комбинацию высокоомного ядра и проводящих зон листрической формы, полого погружающихся к юго-западу от зоны ТФР до глубин 40-45 км и к северо-востоку - до глубин порядка 25-30 км. Протяженность аномальной зоны оценивается в 250 км, ширина по верхней кромке меняется от 50-60 км на северо-западе, до 10-15 км на юге. В плане аномалия электропроводности имеет дугообразную форму.

Глубинная структура Линии Николаева на исследуемой территории (до 75°) проявляется в виде двух круто погружающихся на юг

электропроводящих объектов, которые образуют единое проводящее тело, с глубин 6-8 км до 20 км.

На основании сравнительного анализа результатов количественной интерпретации магнитотеллурических данных и данных сейсмотомографии, палеомагнитного метода и СРВ-исследований по глубинной структуре аномалии электропроводности, приуроченной к зоне Таласо-Ферганского разлома, сделан вывод, что аномалия представляет собой структуру из трех звеньев, которые отличаются друг от друга по морфологическим и структурным особенностям - Таласское, Центральное, Южное звено.

С применением вышеназванной методики получены новые геологические (форма разломных зон, оценка глубины залегания) и геофизические (распределение электропроводности) данные о глубинном строении крупнейших разломных зон Киргизского Тянь-Шаня.

На основе предложенного подхода и сопоставления геоэлектрических данных по южному звену зоны ТФР с сейсмотомографическими и палеомагнитными данными, а также с данными метода ОР5, автором сделано заключение об ограничении глубинной границы восточной части Ферганского блока аномалией электропроводности.

Использование методики последовательных частичных инверсий для исследования глубинной геоэлектрической структуры зоны Линии Николаева позволило автору определить, что она проявляется в виде комбинации двух электропроводящих зон (шириной 2 км и 5 км) в виде "V", которые круто погружаются на юг и образуют единое проводящее тело, начиная с глубин около 6-8 км, которое прослеживается до глубин в 25-30 км и сливается с субгоризонтальным коровым слоем.

В региональном масштабе электропроводящие слои Северо-Восточного Тянь-Шаня формируют листрическую структуру, в которой проводящая структура в районе Таласо-Ферганского разлома является правосторонним сдвигом, а в районе Линии Николаева представлена оперяющимися взбросами, что в совокупности подтверждает представление о тектонической расслоенности Тянь-Шаня и надвигание его на Таримскую впадину.

#### **Теоретическая и практическая значимость работы.**

Проведенные исследования показали, что использование методики последовательных частичных инверсий, адаптированной для изучения реальных разломных зон с привлечением новых программных средств и высокоточных данных по фазам импеданса и типперам, расширяет возможности и повышает достоверность интерпретации результатов МТЗ. Эта методика может быть успешно применена при геоэлектрических

исследованиях в районах, имеющих незначительную проводимость осадочного чехла и хорошо выраженные геоэлектрические неоднородности в земной коре.

В 2004 году эта методика была успешно реализована в районе Чуйской впадины, Республика Алтай. Силами Научной станции РАН при исследовании глубинного строения эпицентральной зоны разрушительного Алтайского (2003г) землетрясения методом МТЗ с использованием методики последовательных частичных инверсий был выделен внутрикоровый проводящий горизонт на глубинах 20-30 км с проводимостью около 2000 См, а также субвертикальные и наклонные проводящие тела, соответствующие крупным разломным зонам, пересекающим земную кору до глубин около 20 км. Несомненным достижением методики, примененной в диссертации, является возможность выявления глубинной структуры земной коры, что в сочетании с другими методами (ОРЗ, структурным анализом) позволяет контролировать проявления сейсмичности внутриконтинентальных орогенических зон.

Представление о современной глубинной структуре крупнейших разломных зон может быть использовано для геодинамических построений и заключений, как по территории Тянь-Шаня, так и в соседних регионах, форма аномалии электропроводности может способствовать выявлению закономерностей в проявлении смещений или вращений блоков земной коры.

**Апробация работы.** Основные результаты выполненных исследований докладывались на всероссийских и международных конференциях: Втором международном симпозиуме «Геодинамика и геоэкологические проблемы высокогорных регионов» (Бишкек, 2002), Втором казахстано-японском семинаре по предотвращению последствий разрушительных землетрясений (Алматы, 2002), международной конференции «Проблемы сейсмологии III-тысячелетия» (Новосибирск, 2003), Всероссийском совещании «Напряженное состояние литосферы, ее деформация и сейсмичность» (Иркутск, 2003), Пятом казахстано-китайском международном симпозиуме «Современная геодинамика и сейсмический риск Центральной Азии» (Алматы, 2003), XXXVII Тектоническом совещании (Новосибирск, 2004), XXXVIII Тектоническом совещании (Москва, 2005), казахстано-российской международной конференции «Геодинамические, сейсмологические и геофизические основы прогноза землетрясений и оценки сейсмического риска» (Алматы, 2004), международной научной конференции «Современная геодинамика и геоэкология Тянь-Шаня» (Бишкек, 2004), 23rd International Conference on Geology and Geophysics of the Tianshan (Zhang, 2003), PII International Conference "Problems of

Оеосозтоз" (8at1-РелегзЪиг§, 2004), 19Л Н1талуа-Кагакогит-Г1Бел  
^огкзЪор (Ноккалсlo, ^рап, 2004), Г<sup>1</sup> Оепегал АззешЪу Еигореап  
Оеозсleпсез Шюп (№се, Ргапсе, 2004).

**По теме диссертации опубликовано 32 работы** с участием автора:  
из них 1 - монография; 6 - в иностранных изданиях; 3 - российских  
изданиях; 15 - материалы международных конференций, симпозиумов,  
совещаний (6 - Россия, 3 - Япония, 2 - Франция, 1 - Индия).

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из пяти глав, введения,  
заклучения и списка литературы. Материалы диссертации изложены на  
200 страницах машинописного текста, включая 68 рисунков.

Список литературы содержит 211 библиографических наименований.

Работа выполнена в лаборатории глубинных магнитотеллурических  
исследований Научной станции РАН, созданной Ю.А. Трапезниковым. Он  
отдал слишком много сил для преодоления разного рода бюрократических  
барьеров, не щадя при этом своего здоровья. И теперь его нет с нами...  
Редкостной души человек, прирожденный лидер, оптимист и романтик -  
он был и остается примером бескомпромиссного служения науке, которая  
являлась главным делом его жизни. Им был пройден прекрасный путь  
созидателя, благодаря уникальной способности организовать, убедить и  
зажечь, ему удалось создать не только Фрунзенский прогностический  
полигон, но и крепкий коллектив, который объединяют не только научные  
исследования. Для полигона явилось огромной удачей иметь такого  
создателя - поэтому полигону удалось не только выжить, но и получить  
дальнейшее развитие в качестве Международного Научно-  
Исследовательского Центра - Геодинамический Полигон (МНИЦ-ГП).  
Появление этой работы во многом дань глубокого уважения и желание  
продолжить дело, начатое Юрием Андреевичем.

За ценные консультации и постоянную поддержку, во многом  
облегчившие работу над диссертацией, автор выражает глубочайшую  
признательность доктору геолого-минералогических наук В.И. Макарову.  
Автор считает своим долгом поблагодарить М.Н. Бердичевского за  
внимание, участие и поддержку магнитотеллурических исследований в  
Научной станции РАН.

Работа выполнена под научным руководством доктора геолого-  
минералогических наук М.М. Буслова, чей большой опыт и творческое  
общение было очень важным, и автор благодарен за постоянное внимание  
с его стороны.

Автор искренне благодарен академику Фридману А.М. за  
многолетнее творческое сотрудничество с Научной станцией РАН.

Особую признательность автор выражает к.ф.-м.н. А.К.Рыбину и

к.г.-м.н. В.Ю. Баталеву, частые, а нередко и горячие дискуссии с которыми  
при обсуждении вопросов, касающихся распределения  
электропроводности в литосфере Тянь-Шаня и современной  
геодинамической обстановки, создавали творческую атмосферу и  
являлись стимулом для дальнейших исследований. Автор считает своим  
долгом поблагодарить академика А.Б. Бакирова за оказанную поддержку и  
консультации.

Особую благодарность автор выражает руководителям Научной  
станции и МНИЦ ГП В. А. Зейгарнику, Г. Г. Щелочкову и  
Л.М. Богомолу за неизменную поддержку и внимание к тематике  
глубинных электромагнитных исследований. Автор считает своим долгом  
выразить самую искреннюю признательность своим коллегам за помощь в  
проведении совместных геофизических работ.

## **ОСНОВНЫЕ ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ**

**1. Адаптирована и усовершенствована методика количественной  
интерпретации данных МТЗ-МВЗ по методу последовательных  
частичных инверсий для определения глубинного строения реальных  
разломных зон Тянь-Шаня. На этой основе рассчитаны двумерные  
модели геоэлектрического строения крупнейших разломных зон  
западной части Кыргызского Тянь-Шаня.**

Методика количественной интерпретации данных МТЗ-МВЗ по  
методу последовательных частичных инверсий, предложенная М.Н.  
Бердичевским (Бердичевский и др., 2003) для численных экспериментов,  
основывается на нескольких положениях:

- используются только компоненты МТ-данных, свободные от  
статических смещений, вызванных действием приповерхностных  
геоэлектрических неоднородностей - в нашем случае это реальные и  
мнимые вектора Визе (типперы)  $Ke^{i\omega t}$  и  $U$  а также продольные и  
поперечные фазы импеданса  $P_{xy}$ ,  $P_{yx}$ . В некоторых случаях для  
расчленения верхней высокоомной коры используются поперечные  
кривые кажущегося сопротивления;

- инверсия нескольких компонент МТ-данных, производится не  
совместно, а только последовательно, и результаты инверсии одной из  
компонент МТ-данных являются стартовой моделью для следующих  
компонент и наоборот. Минимизация невязки между  
экспериментальными и расчетными данными производится с помощью  
итераций, в процессе выполнения которых корректируется распределение  
 $p$  в оптимизируемых блоках модели. Этот итерационный цикл был назван  
внутренним. Используя полученное для магнитовариационной  
компоненты  $Ye_{SHx}$  решение можно построить стартовую модель для

другой компоненты поля, например,  $\rho_{\text{лху}}$  и вновь минимизировать невязки. Повторение этой процедуры несколько раз для инвертируемых компонент поля было названо внешним итерационным циклом;

- при инверсии компонент МТ-данных с помощью программ И.М. Варенцова и Н.Г. Голубева (2003) все блоки моделей устанавливаются оптимизируемыми;

- основное внимание при работе во внешнем итерационном цикле уделяется выделению и уточнению структур в рабочих частях моделей, общих для всех рассматриваемых компонент МТ-данных. В фоновых частях моделей допускаются различия. Проводящие структуры, выделенные в рабочих частях моделей для всех инвертируемых компонент данных, при выполнении достаточного количества итераций внешнего цикла должны иметь близкую форму и значения сопротивления;

- результирующей моделью считается модель, обеспечивающая минимальные невязки для всех инвертируемых компонент МТ-данных;

- проверка устойчивости результирующей модели осуществляется путем контроля изменений невязки при произвольном изменении значений сопротивления в выделенных проводящих структурах, общих для всех инвертируемых компонент МТ-данных.

Дополнительным критерием устойчивости результирующей модели является общая сходимость моделей рассчитанных для независимых компонент МТ-поля, каковыми являются фазы импеданса и вектора Визе, что методически необходимо для реализации способа последовательных частичных инверсий.

**2. Глубинная геоэлектрическая структура Таласо-Ферганского разлома представляет собой комбинацию высокоомного ядра в центре и проводящих зон ластрической формы, полого погружающихся к юго-западу от зоны ТФР до глубин 40-45 км и северо-востоку - до глубин 25-30 км. Линия Николаева проявляется в виде комбинации двух круто погружающихся на юг электропроводящих зон, образующих на глубине 6-8 км единое тело.**

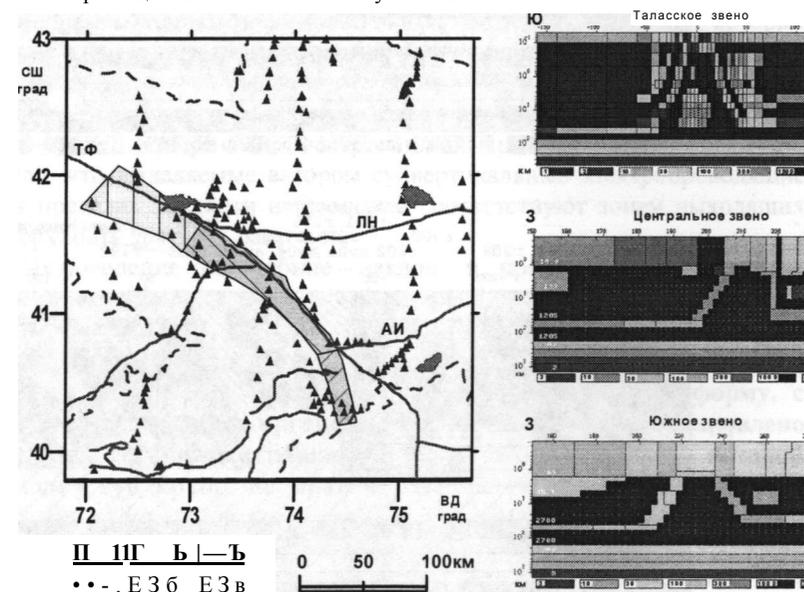
Установлено, что два коровых проводника, полого погружающиеся в сторону Юго-Западного и Северо-Восточного Тянь-Шаня, поднимаются к приповерхностным слоям в зоне Таласо-Ферганского разлома и плане образуют дугообразную структуру (рис.2). Совместное рассмотрение всех данных по глубинной структуре аномалии электропроводности ТФР позволило автору разделить её по простираию на три звена - Таласское, Центральное и Южное.

**Таласское звено** (рис.2) характеризуется наибольшей шириной (до 50-60 км) зоны аномалии ТФР, причём это достигается за счёт расширения аномалии на юго-запад. Северо-восточная граница при этом локализуется

вблизи ТФР. Проводящие зоны, соединяющие коровый проводник с приповерхностными проводящими образованиями и ограничивающие высокоомное ядро аномалии, в этом сечении как с юго-запада, так и с северо-востока являются наклонными. Характерной особенностью Таласского звена аномалии ТФР является то, что наклонные проводящие зоны, выделяемые в моделях по Таласскому и Торкентскому профилям, являются раздвоенными.

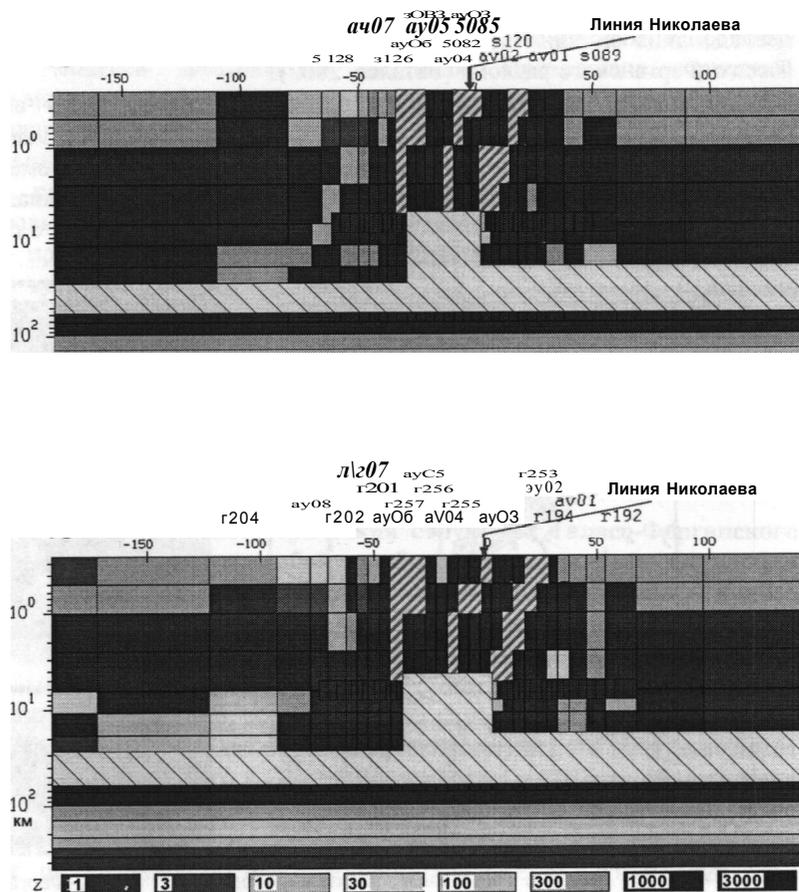
**Центральное звено** выделено по данным, полученным в результате исследования влияния «эффекта вытеснения поперечного тока» в зоне Таласо-Ферганского разлома (Баталев, 2002).

Основным морфологическим признаком, по которому автором производилось выделение этого звена, является вертикальное заложение проводящей зоны, ограничивающей высокоомное ядро аномалии с северо-востока, т.е. собственно зоны ТФР. При этом с юго-запада оно, как и на Таласском звене, ограничено наклонным проводником, а северо-восточная граница аномалии локализуется вблизи ТФР.



**Рис. 2.** Деление аномалии электропроводности Таласо-Ферганского разлома на три звена. 1 - Таласское звено, 2 - Центральное звено, 3 - Южное звено; 4 - пункты МТЗ, 5 - граница Киргизстана, 6 - крупные разломы: ТФ - Таласо-Ферганский, ЛН - Линия Николаева АИ- Атбаш-Иныльчекский. Справа приведены типичные модели геоэлектрического строения по звеньям.

**Южное звено** занимает особое место в морфологическом анализе аномалии электропроводности ТФР. В районе сочленения ТФР и Атбаш-Иныльчекского разлома аномалия электропроводности, на протяжении более чем 200 км сопутствовавшая разлому, отходит от него на юг, а сам ТФР несколько изгибается к востоку. Соотношение северо - восточной и юго - западной проводящих зон, ограничивающих высокоомное ядро аномалии, такое же, как и на Таласском звене



Н 2

**Рис. 3.** Результирующие модели по участкам профилей, секущих Линию Николаева: а - профиль 1-1, б - профиль П-П (рис.1.), 1 - коровый проводник, 2 - субвертикальные проводящие зоны

Как известно из предыдущих работ (Трапезников и др., 1997; Рыбин, 2001), в моделях глубинной геоэлектрической структуры зоны Линии Николаева выделяется электропроводящее тело, распространяющееся от корового проводящего горизонта на глубинах от 20 км до глубин 6-8 км, прослеживающееся вдоль по простиранию Линии Николаева на расстояние до 400 км.

При этом, автором было определено, что она проявляется в виде комбинации двух субвертикальных электропроводящих зон, погружающихся на юг, которые образуют единое тело, распространяющееся с глубин около 6-8 км до 25-30 км.

Использование методики последовательных частичных инверсий в районе Тогуз-Тороузской впадины по профилю 1-1 и в районе оз. Сон-Куль западнее профиля П-П несколько затруднено тем, что экспериментальные данные получены там достаточно давно с аппаратурой ЦЭС-2 и точность определения некоторых компонент МТ-поля недостаточно высокая. Были рассчитаны двумерные модели (рис.3) с применением методики последовательных частичных инверсий, которые позволили детализировать ранее выделенную аномалию электропроводности, приуроченную к Линии Николаева.

Сопоставление глубинных геоэлектрических моделей с геологическими разрезами, построенными Христовым (Христов, 1969) показало, что выделяемые автором субвертикальные электропроводящие зоны в пределах точности наблюдений соответствуют зонам выходящих на поверхность крупных разломов.

Их поведение на глубине - наклон и простирание, определить которые, используя только геологические данные затруднительно, оценивается по данным МТЗ.

**3. В Юго-Западном Тянь-Шане выявлена дугообразная в плане структура, имеющая в глубинном разрезе листрическую форму, с погружением к центру Ферганского блока до 40-45 км. Установлено соответствие глубинной границы Ферганского блока, вдоль которой происходит его вращение против часовой стрелки, юго-западной части аномалии электропроводности зоны Таласо-Ферганского разлома.**

Дается обобщение данных магнитотеллурического и магнитовариационного зондирования в сопоставлении с данными о современных движениях земной коры, сейсмичности, кайнозойской тектоники и геодинамики Тянь-Шаня (рис 4). В основе корреляции используется модель формирования структуры региона, изложенная в работах Н. Л. Добрецова и М.М. Буслова (Обре150У е( al.,1996; Вш1оу е! al., 2003).

В этой модели предложен механизм постепенной передачи деформаций от коллизии Индия - Евразия, обусловленный влиянием неоднородности палеозойского фундамента на характер взаимодействия, смещения и вращения микроплит и блоков земной коры Центральной Азии. Данная модель хорошо подтверждается выводами о современной глубинной структуре Тянь-Шаня.

Важнейшими факторами, контролирующими распространение деформаций, является, во-первых, наличие «жестких» структур микроконтинентов в «мягком» матриксе складчатых зон, и, во-вторых, мантийных плюмов, по «подушке» которых происходит перемещение и вращение микроплит.

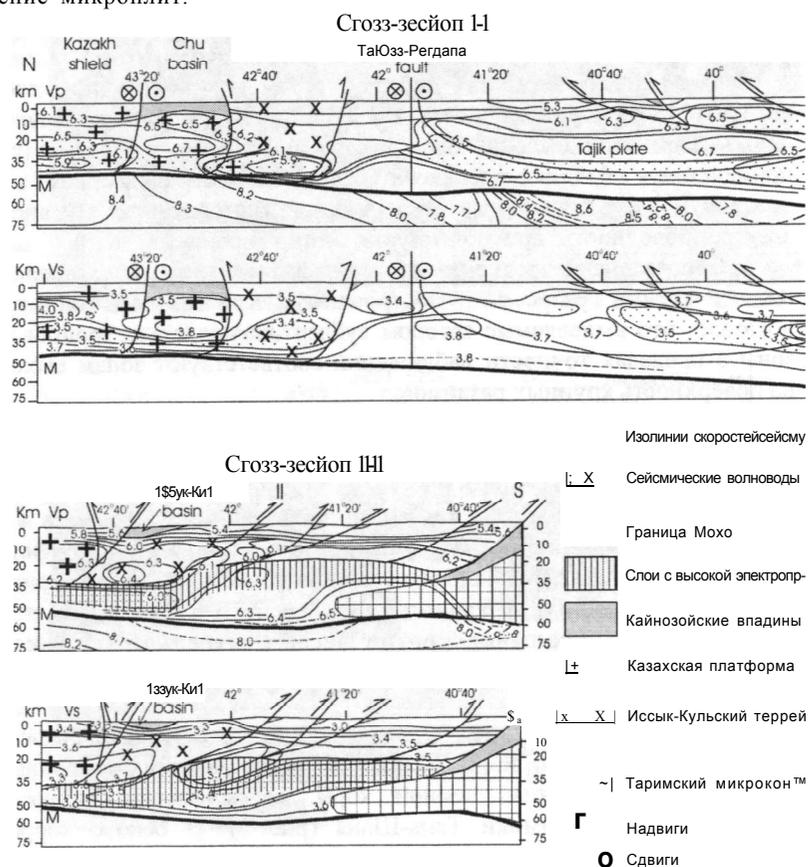


Рис. 4. Глубинные геолого-геофизические разрезы Тянь-Шаня. Положение профилей показано на рис. 1.

Корреляция геологических и геофизических данных и глубинная структура литосферы рассмотрена на примере конкретных профилей.

На разрезах хорошо видно положение коровых проводящих слоев относительно активных структур Памирского "индентора" и Таримского микроконтинента. Так, в южной части профиля 1-1 выделяется коровый проводящий слой с глубиной положения кровли от 35 до 5 км. Он имеет отчетливую форму литрического разлома, как и выше расположенные надвиги.

Коровый проводящий слой совпадает с зоной пониженных сейсмических скоростей и постепенно с юга на север поднимается к поверхности.

По комплексу геолого-геофизических данных он интерпретируется как глубинная зона срыва, участки подъема к поверхности которой располагаются в виде плавной дуги.

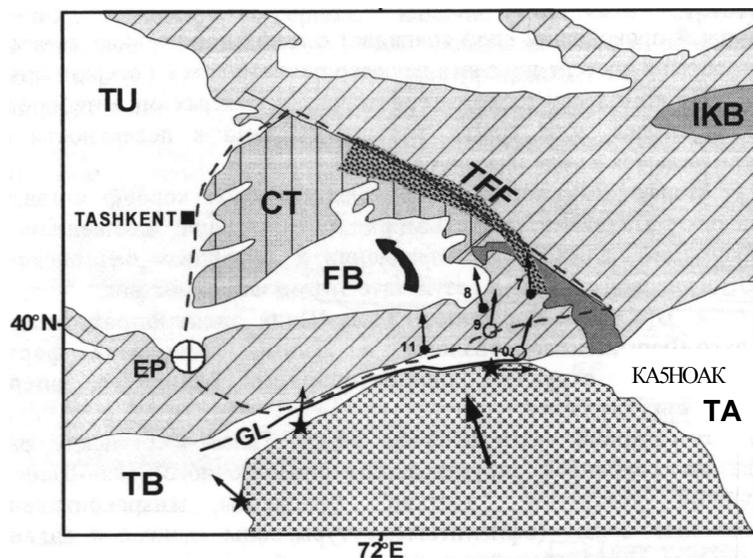
Морфология корового проводящего слоя хорошо согласуется с моделью взаимодействия Памира и Тянь-Шаня, смещением фронта деформаций в северном направлении и поворотом Ферганского блока против часовой стрелки в результате этого взаимодействия.

**4. В Северо-Восточном Тянь-Шане электропроводящие зоны Таласо-Ферганского разлома и Линии Николаева формируют комбинацию структур правостороннего сдвига и оперяющих взбросовых структур.**

В северной части профиля 1-1, за Таласо-Ферганским разломом показана глубинная структура Северо-Восточного Тянь-Шаня. В ее строении участвуют "жесткие" фрагменты микроконтинентов и мобильные зоны (офиолитовые сутуры, зоны сдвигов и надвигов). В результате кайнозойской реактивации мобильные зоны проявились как сдвиги и взбросы. Кровля волновода расположена на глубинах 20-30 км и хорошо выражена сменой сейсмических скоростей. Более четко структура этого волновода выражена на профиле Н-Н. Коровый проводящий слой совпадает с зоной пониженных скоростей и по простиранию доходит до фундамента Таримской плиты. Можно предполагать, что активное внедрение жесткого фундамента в средние-нижние горизонты литосферы Тянь-Шаня проявилось в формировании зоны пластичных деформаций, тогда как чехол плиты, ввиду своей физической "мягкости", был смят надвигающимися в обратном направлении горными массами. В верхней части земной коры над волноводом были сформированы надвиги южной вергентности, а также взбросы, к числу которых, относятся структуры Линии Николаева.

На всей территории Тянь-Шаня коровый проводящий слой, залегающий на глубинах 20-35 км, редко до 45 км, поднимается к поверхности лишь в зоне Таласо-Ферганского разлома. К юго-западу от

ТФР, слой в форме листрического разлома погружается на юг-запад, и предварительно рассматривался как детачмент надвиговых структур Памира (Баталев, 2002). В настоящей работе интерпретация аномалии электропроводности зоны ТФР в Юго-Западном Тянь-Шане основывается на представлении о повороте Ферганского блока. Обсуждается вопрос о смещении современной границы Ферганского блока к юго-западу до 50 км от линии ТФР.



**Рис. 5** (по Баженову М.Л.,1993), Схема, иллюстрирующая поворот Ферганского блока. 1- Кайнозойский чехол; 2- Юрские впадины, примыкающие к Таласо-Ферганскому разлому; 3- Тянь-Шаньский блок; 4- Памирский блок; 5- направление предполагаемого вращения Ферганского блока; 6- граница вращающегося блока; 7- пункты отбора образцов; 8- структуры, компенсирующие вращение Ферганского блока; 9- направление движения Памирского блока; 10- пункты отбора образцов пород мелового возраста, 11- контуры аномалии электропроводности Таласо-Ферганского разлома. ИКВ-Иссык-Кульская впадина; ТФР-Таласо-Ферганский разлом; ТП- Туранская плита; РВ- Ферганская впадина; ТА- Таримская платформа; Об- линия надвигов Губина; ТД-Таджикская депрессия; ЕР-положение центра вращения.

В результате детализационных исследований и по результатам проведенных ранее в зоне Таласо-Ферганского разлома работ методом магнитотеллурического зондирования была выявлена аномалия электропроводности (комбинация коровых проводников) шириной от 10-15 км до 50-60 км и глубиной залегания до 45 км. Установлено, что коровый проводник поднимается к поверхностным слоям в районе Таласо-Ферганского разлома и резко выполаживается в сторону Юго-Западного и Северо-Восточного Тянь-Шаня. Аномалия электропроводности, приуроченная к зоне ТФР, по своим характеристикам подразделяется на три звена - Таласское, Центральное и Южное. Зона ТФР, установленная по геологическим данным как крутозалегающая структура сдвига, выражена в электромагнитном поле как субвертикальная проводящая структура лишь в Центральном звене. В Таласском звене она имеет форму листрического разлома. Современная северо-восточная граница Ферганского блока на Юго-Западном Тянь-Шане смещена относительно линии ТФР на 50-60 км к юго-западу (Рис.5).

Интерпретация результатов МТЗ в корреляции с геологическими данными показывает, что в современной геодинамической обстановке Юго-Западного Тянь-Шаня фиксируется дугообразная в плане структура, имеющая листрическую форму в глубинном разрезе с погружением до 40-45 км в сторону Ферганского блока. Такая форма активной зоны хорошо согласуется с данными о повороте Ферганского блока, происходящем под воздействием Памирского индентора.

#### Заключение

Возможности магнитотеллурического зондирования для решения задач о связи глубинного строения зон разломов и современной геодинамики значительны, что может широко использоваться для исследования разломных структур активных регионов.

Новые подходы, предлагаемые в работе, выгодно отличаются от предшествующих. Во-первых, методика последовательных частичных инверсий МТ и МВ-данных направлена на повышение надежности и разрешающей способности магнитотеллурических исследований в горных регионах и адаптирована к геоэлектрическим условиям Тянь-Шаня, в частности зоны Таласо-Ферганского разлома и Линии Николаева. Она позволяет выполнить интерпретацию тех МТ-данных, которые выполнены в сложных горных районах, в условиях вечной мерзлоты и искажены влиянием приповерхностных неоднородностей, но только в том случае, если зондирования проводились в паре МТЗ-МВЗ. Применение этой методики позволило автору уточнить оценки глубины залегания Линии Николаева и детализировать глубинную структуру этой разломной зоны. На территории Киргизского Тянь-Шаня, в результате исследования

методом магнитотеллурического зондирования, выявлена протяженная по длине аномалия электропроводности, пространственно приуроченная к зоне Таласо-Ферганского разлома, которая по своим свойствам (морфология и структурные особенности) подразделяется на три звена: Таласское, Центральное и Южное. Путем совместного анализа данных, полученных различными геофизическими и геологическими методами, установлено, что факт существования аномалии и её морфология органично вписывается в концепцию поворота Ферганского блока.

Во-вторых, развитие геодинамических концепций невозможно без дополнительной информации о структуре и физическом состоянии земной коры и верхней мантии, а магнитотеллурические зондирования в Тянь-Шаньском регионе являются сравнительно недорогим (в отличие от бурения и сейсморазведки) методом, позволяющим получить достоверную информацию о распределении неоднородностей физических свойств литосферы континентальных орогенов до глубин более 100 км. Кроме того, метод МТЗ является экологически чистым методом, что очень важно для современного состояния планеты.

В-третьих, изучение глубинной структуры разломных зон методом магнитотеллурического зондирования на прогностических полигонах (Бишкекском и создаваемом Алтайском) с использованием для количественной интерпретации методики последовательных частичных инверсий может и должно сочетаться с мониторинговыми наблюдениями станциями Рьоешх. Такое комплексирование позволит определить приуроченность аномальных изменений электрического сопротивления во времени к глубинным структурам.

Несомненным достоинством методики, примененной в диссертации, является возможность выявления глубинной структуры напряженных участков земной коры, что в сочетании с другими методами (ОР8, сейсмотомографией, структурным анализом) позволяет контролировать проявления сейсмичности внутриконтинентальных орогенических зон.

**По теме диссертации были опубликованы следующие работы:**

1. Баталев В.Ю., Рыбин А.К., Щелочков Г.Г., Баталева Е.А., Сафронов И.В. Строение зоны Таласо-Ферганского разлома по данным магнитотеллурических зондирований // Напряженное состояние литосферы, ее деформация и сейсмичность: Труды Всероссийского совещания 26-29 августа 2003. - Новосибирск, изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 2003. - С.257-261 (5 с.)

2. 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 // Геодинамика и геоэкологические проблемы высокогорных регионов: Сборник материалов Второго междунар. симп. 29 октября - 3 ноября 2002. - Москва-Бишкек, 2003. - С.164-179. (15 с.)

3. Баталев В.Ю., Рыбин А.К., Щелочков Г.Г., Баталева Е.А., Сафронов И.В. Таласо-Ферганский разлом — глубинное строение и геодинамика (на основе данных геоэлектрики) // Геодинамика и геоэкологические проблемы высокогорных регионов: Сборник материалов Второго междунар. симп. 29 октября - 3 ноября 2002. - Москва-Бишкек, 2003. - С.180-189. (10 с.)

4. Рыбин А.К., Баталев В.Ю., Щелочков Г.Г., Баталева Е.А., Сафронов И.В. Тектоническая расслоенность литосферы Тянь-Шаня по геофизическим данным // Эволюция тектонических процессов в истории Земли: Материалы XXXVII Тектонического совещания 10-13 февраля 2004. - Новосибирск: изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 2004. т.2, - С.128-130. (4 с.)

5. Баталева Е.А., Рыбин А.К., Баталев В.Ю., Щелочков Г.Г., Сафронов И.В. Характеристика литосферы Тянь-Шаня по комплексу геофизических данных // Физические, геофизические и геодинамические исследования в Центральной Азии в начале XXI века. - Бишкек: КРСУ, 2004. - С.22-25. (4 с.)

6. Баталева Е.А., Рыбин А.К., Баталев В.Ю., Щелочков Г.Г., Сафронов И.В. О морфологии аномалии электропроводности Таласо-Ферганского разлома // Тектоника земной коры и мантии. Тектонические закономерности размещения полезных ископаемых: материалы XXXVIII Тектонического совещания 1-4 февраля 2005 г. - М.: ГЕОС, 2005. т.1. - С.40-43. (4 с.)

7. Баталева Е.А., Рыбин А.К., Баталев В.Ю., Щелочков Г.Г., Сафронов И.В. Предварительные результаты магнитотеллурических наблюдений в районе Чуйской впадины (Республика Алтай) // Тектоника земной коры и мантии. Тектонические закономерности размещения полезных ископаемых: материалы XXXVIII Тектонического совещания 1-4 февраля 2005 г. - М.: ГЕОС, 2005. т.1. - С. 43-47. (5 с.)

8. Баталева Е.А., Рыбин А.К., Баталев В.Ю., Щелочков Г.Г., Сафронов И.В. Явление вытеснения поперечного тока в зоне Таласо-Ферганского разлома и некоторые геодинамические выводы // Геодинамические, сейсмологические и геофизические основы прогноза землетрясений и оценки сейсмического риска: материалы пятой казахстанско-российской междунар. конф.- Алматы: Умит. 2005. С.82-88. (7 с.)

9. **Баталева Е. А.**, Рыбин А. К., Баталев В. Ю., Щелочков Г.Г., Сафронов И.В. Аномалия электропроводности Таласо-Ферганского разлома и её геодинамические приложения // Геодинамические, сейсмологические и геофизические основы прогноза землетрясений и оценки сейсмического риска: материалы пятой казахстанско-российской междунар. конф.- Алматы: Умит. 2005. - С.89-95. (7 с.)

10. **Баталева Е.А.**, Рыбин А.К., Баталев В.Ю., Сафронов И.В. О возможности использования магнитотеллурического зондирования для прогнозирования месторождений полезных ископаемых в разломных зонах // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – № 3. – 2005.

11. Рыбин А.К., Баталев В.Ю., Макаров В.И., **Баталева Е.А.**, Сафронов И.В. Структура земной коры по данным магнитотеллурических зондирований // Современная геодинамика областей внутриконтинентального коллизионного горообразования (Центральная Азия). - М.: Научный мир. 2005. - 720 с.

12. Rybin A., Batalev V., Tshelochkov G., **Bataleva E.**, Safronov, I. Deep electromagnetic researches in Tien-Shan – the achieved possibilities and prospects for the organization of monitoring magnetotelluric observations// Problems of destructure earthquake disaster prevention. - Proc.Almaty: Evero, 2003. - P.280-286. (7 с.)

13. Batalev V.Yu., Rybin A.K., Tchelochkov G.G., **Bataleva E.A.**, Safronov I.V. EM imaging Talas-Fergana fault zone and adjacent territory deep structure according MT-data. // Abstracts of 23rd General Assembly of the IUGG, Sapporo, Japan, June 2003 (4 с.)

14. **Bataleva E.A.**, Rybin A.K., Batalev V.Yu., Tchelochkov G.G., Safronov I.V. Geoelectric model of zone of the Talas-Fergana fault (the Kyrgyz Tien-Shan) // Fifth International Conference "Problems of Geocosmos", Saint-Petersburg State University (SPBU), Saint-Petersburg. 2004. C.277-281(5 с.)

15. Buslov M. M., Grave J. De, **Bataleva E. A.**. Cenozoic Tectonics and Geodynamic of Tian-Shan Mountain Belt // Himalayan journal of sciences. - 2004.-V.2, issue 4. - P.106-107 (2 с.)

Технический редактор О.М. Вараксина

подписано к печати 15.04.05

Формат 60×84/16. Бумага офсет № 1. Гарнитура "Таймс". Печать офсетная  
Печ. л. 1,2 Тираж 120. Зак. 95

Издательство СО РАН. 630090, Новосибирск, Морской пр-т, 2  
Филиал "Гео". 630090, Новосибирск, пр-т Ак. Коптога, 3