

УДК 550.372(575.2)

ПОСТРОЕНИЕ ПСЕВДОРЕЛЬЕФОВ КРУПНЕЙШИХ РАЗЛОМНЫХ СТРУКТУР  
ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ

*Е.А. Баталева, В.Ю. Баталев*

Проанализировано отображение крупнейших разломных зон Центрального Тянь-Шаня в псевдорельефах инвариантов магнитотеллурических параметров на этапе качественной интерпретации данных магнитотеллурического зондирования.

*Ключевые слова:* естественное электромагнитное поле; кажущееся электрическое сопротивление; качественная интерпретация; псевдорельефы.

---

DESIGN PSEUDO RELIEFS MAJOR FAULT ZONES  
OF THE CENTRAL TIEN SHAN

*E.A. Bataleva, V.Yu. Batalev*

It is analysed display of the largest fault zones of the Central Tien Shan in pseudo reliefs of invariants of magnetotelluric parameters at the stage of qualitative interpretation of magnetotelluric data.

*Key words:* natural electromagnetic field; apparent electrical resistance; qualitative interpretation; pseudo reliefs.

Несмотря на значительный объем геофизических и геологических исследований, глубинное строение литосферы Тянь-Шаня до сих пор остается малоизученным. Это сказывается при решении многих фундаментальных и прикладных задач геофизики и геологии, таких как исследование глубинных геодинамических процессов и их взаимосвязь с сейсмическим режимом, изучение закономерностей распределения полезных ископаемых, формирование взглядов на эволюцию литосферы и верхней мантии и т. д. Среди электромагнитных методов, позволяющих получать информацию о глубинном строении Земли, особое место занимает магнитотеллурическое зондирование (МТЗ), которое выполняется в Научной станции РАН уже более 30 лет [1–6]. Данный метод в качестве источника возбуждения электрического тока использует вариации естественного геомагнитного поля, что позволяет при небольших затратах и нарушении экологии региона исследовать электрические свойства среды до глубин 100 и более километров. Естественное электромагнитное поле Земли содержит колебания различной частоты. Известно, что в связи с явлением скин-эффекта более высокочастотные колебания МТ-

поля быстрее затухают с глубиной, в то время как низкочастотные компоненты спектра проникают на большие глубины [7]. Поэтому высокочастотные составляющие поля несут информацию лишь о приповерхностной части разреза, в то время как с понижением частоты можно получить информацию о глубинной части геоэлектрического разреза. Это означает, что метод МТЗ представляет собой разновидность индукционного частотного зондирования, который не требует использования генераторных установок, но при этом обеспечивает большую глубинность исследований, чем методы с контролируемым источником. Другим преимуществом метода МТЗ является переход от отдельных компонент электромагнитного поля к передаточным функциям, которые представляют собой отношения определенных компонент поля, измеренных в пункте зондирования. Переход к передаточным функциям позволяет исключить из рассмотрения неизвестные параметры источников естественного электромагнитного поля.

Основным результатом интерпретации данных МТЗ является выявление пространственного распределения электропроводности среды, что отражает термодинамические условия в земной коре

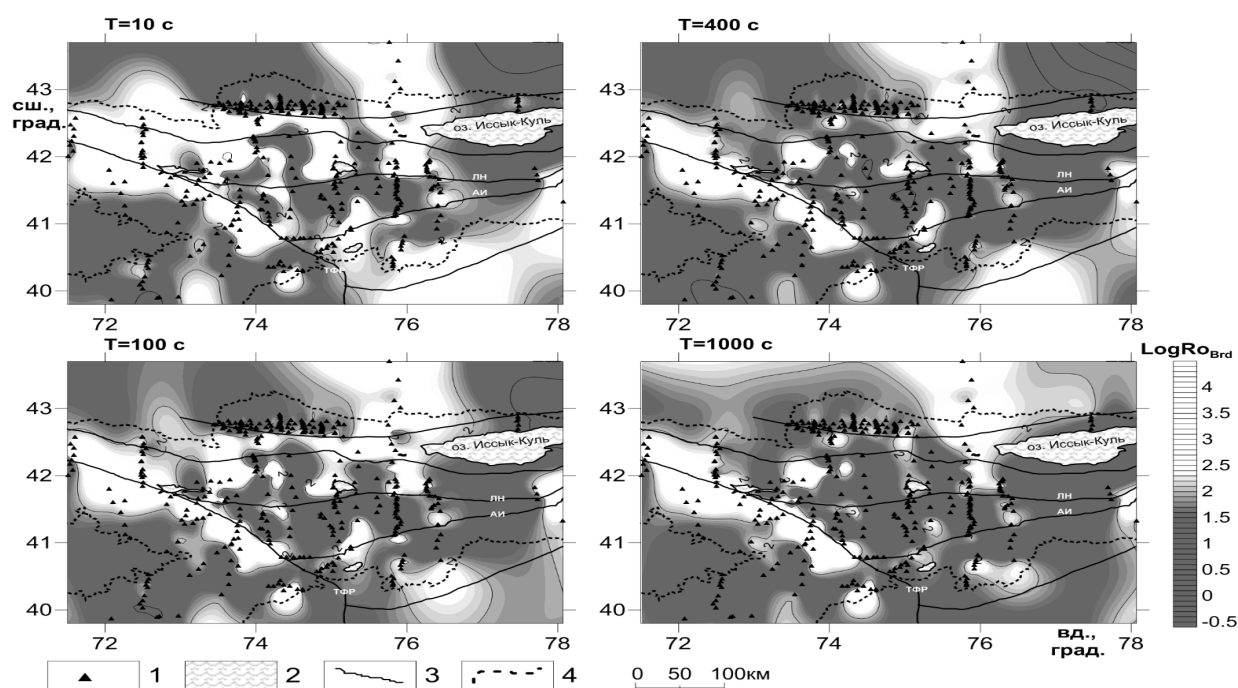


Рисунок 1 – Псевдорельефы Robrd (на вертикальной оси  $\log Robrd$ , Ом·м), построенные для территории Центрального Тянь-Шаня на периодах  $T = 10, 100, 400$  и  $1000$  с: 1 – пункты МТЗ; 2 – озера и водохранилища; 3 – крупные разломы (ТФР – Таласо-Ферганский разлом, ЛН – Линия Николаева, АИ – Атбаши-Иныльчекский); 4 – граница КР

и верхней мантии, несет информацию о характере глубинных границ. Измеряемыми величинами являются электрические ( $E_x$  и  $E_y$ ) и магнитные ( $H_x$ ,  $H_y$  и  $H_z$ ) составляющие электромагнитного поля. Величину сопротивления среды определяет импеданс – отношение горизонтальных составляющих электромагнитного поля – электрической к магнитной ( $E_x/H_y$  и  $E_y/H_x$ ) на различных периодах (частотах) колебаний поля. Основной целью построения псевдорельефов является качественный анализ распределения электропроводности по площади и глубине исследуемой территории. Интерпретация МТ-данных на качественном уровне достаточно сложный и трудоёмкий процесс, поскольку оценивается поведение большого количества параметров. Однако это оправдано тем, что с помощью углубленного анализа МТ-данных можно построить интерпретационную модель, максимально полно отражающую структуру электропроводности среды и размерность её составных элементов, что позволяет получить более точное (количественное) решение обратной задачи. Предложенный М.Н. Бердичевским метод псевдорельефов [8] апробируется на реальных магнитотеллурических (МТ) и магнитовариационных (МВ) данных по Центральному Тянь-Шаню. При построении псев-

дорельефов над трехмерными синтетическими моделями с достаточно большим количеством ячеек ( $> 3600$  точек в плане) формируются гладкие поверхности, на которых очень наглядно разделяется влияние аномальных объектов, расположенных на различных глубинных уровнях [8]. Иное дело, когда псевдорельефы строятся с использованием полевых экспериментальных данных, полученных для неоднородных сред и с количеством точек в редких случаях, составляющих первые сотни зондирований [9, 10]. Естественно, плотность данных по реальным профилям не может приближаться к “модельной” плотности данных и обеспечить гладкое отображение имеющихся в разрезе структур. Кроме того, экспериментальные данные всегда осложнены некоторым влиянием “геологического шума”. Соответственно, наглядность представления реальных данных по методу псевдорельефа зависит от разрешающей способности функций отклика и интенсивности геологического шума. Для построения использовались МТ- и МВ-данные, полученные в Научной станции РАН за более чем тридцатилетний период – более 800 зондирований. Для каждого пункта МТЗ были рассчитаны и построены в виде псевдорельефов на нескольких периодах следующие инварианты [7, 8]:

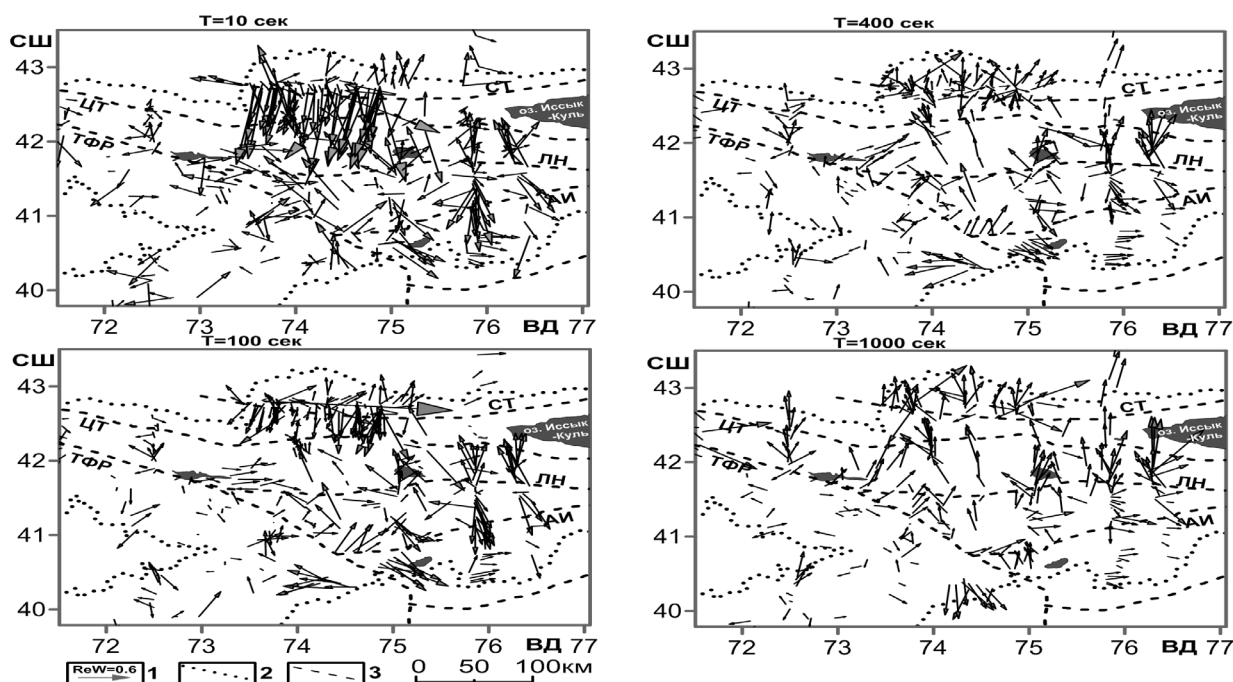


Рисунок 2 – Реальные векторы Визе – Паркинсона, построенные для территории Центрального Тянь-Шаня на периодах  $T = 10, 100, 400$  и  $1000$  с: 1 – векторы Визе; 2 – граница КР; 3 – крупные разломы (ТФР – Таласо-Ферганский разлом, ЛН – Линия Николаева, АИ – Атбаш-Иньльчекский, ЦТ – Центрально-Тяньшанский, СТ – Северо-Тяньшанский)

1) компоненты тензора импеданса  $[z] = \begin{bmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{bmatrix}$ , вычислен импеданс Бердичевского  $Z_{brd} = (Z_{xy} - Z_{yx})/2$ , и построены псевдорельефы следующих инвариантов: кажущегося сопротивления  $Ro_{brd} = |Z_{brd}|^2 / \omega\mu_0$  и фазы  $Fi_{brd} = -\arctg(Z_{brd})$ ;

2) матрицы Визе – Паркинсона  $[W] = [W_{zx} \ W_{zy}]$ , связывающие горизонтальные компоненты магнитного поля с его вертикальной компонентой и построены псевдорельефы инварианта  $\|W\| \sqrt{|W_{zx}|^2 + |W_{zy}|^2}$ ;

3) компоненты фазового тензора  $[\Phi] = \begin{bmatrix} \Phi_{xx} & \Phi_{xy} \\ \Phi_{yx} & \Phi_{yy} \end{bmatrix}$  и построены псевдорельефы кажущейся фазы  $Fi_k = -\arctg \frac{\Phi_{xx} + \Phi_{yy}}{2}$ .

При анализе псевдорельефов по территории Центрального Тянь-Шаня очень наглядно проявилась выделенная ранее коровая аномалия электропроводности [11,12] – зона секущих деформаций Таласо-Ферганского разлома (рисунок 1).

На карте псевдорельефов (рисунок 1) эта разломная структура представлена высокоомным блоком шириной около 40 км и длиной порядка 250 км, восточная граница которого пространственно приурочена к линии Таласо-Ферганского разлома. Необходимо отметить, что указанная выше структура проявляется до глубин порядка 100 км ( $T = 1000$  с) не только на псевдорельефах  $Ro_{brd}$ , но и на фазы  $Fi_{brd}$ . Следует отметить, что южная часть коровой аномалии электропроводности, описанная в работах [11, 12], находит отражение в построенных псевдорельефах в виде высокоомного блока, который находится юго-западнее линии Таласо-Ферганского разлома, нанесенной на тектоническую карту (см. рисунок 1).

Зона сочленения Киргизского хребта и Чуйской впадины (Шамси-Тюндюкский разлом) на периодах 10 и 100 с проявляется как ярко выраженная граница между изолятором (высокоомной структурой Киргизского хребта) и проводящей областью, которая соответствует Чуйской впадине. Для глубин 40–50 км выделен расположенный под северной частью Чуйской впадины участок корового проводника с повышенной электропроводностью [1, 9], на более низких частотах проводимость рассматриваемой зоны уменьшается. Обращает на

себя внимание закономерность в поведении реальных векторов Визе – Паркинсона для рассматриваемой области на периодах 10 и 100 с (рисунок 2), что свидетельствует о корректности выделения электропроводящих объектов в земной коре. Важнейшей структурной линией Центрального Тянь-Шаня, которая представляет собой субширотную шовную зону, является Линия Николаева. Для этой разломной зоны характерна приуроченность к южным границам высокоомных блоков, таких как Сонкульский блок [13], окруженных проводящими зонами (см. рисунок 1), которые могут быть обусловлены наличием углеродисто-черносланцевых комплексов или флюидов.

Очевидно, что даже на этапе качественной интерпретации проявляются особенности глубинного строения проводящих структур и высокоомных объектов, что является дополнительной информацией об их морфологии и размерности и может значительно облегчить построение интерпретационной модели.

Таким образом, использование метода псевдорельефа на этапе качественной интерпретации может быть эффективным для построения трехмерной качественной модели реальной геоэлектрической среды. Основное достоинство этого метода состоит в том, что поверхности МТ- и МВ-инвариантов дают достаточно полное и наглядное представление о форме и взаимном расположении основных геоэлектрических структур в разрезе, о взаимодействии создаваемых ими эффектов, о характеристиках геоэлектрического шума. Обнаружение на псевдорельефах Центрального Тянь-Шаня особенностей, не связанных с известными аномальными телами, может способствовать получению дополнительной информации по морфологии и размерности уже известных структур и построению более детальных и корректных геоэлектрических моделей.

Представленные исследования осуществляются в рамках выполнения Государственного задания ФГБУН ИС РАН в г. Бишкеке на 2014–2016 гг. (Тема 70.1) и Программ фундаментальных исследований ОНЗ РАН № 6 и № 7.

#### Литература

1. Баталев В.Ю. Интерпретация глубинных магнитотеллурических зондирований в Чуйской межгорной впадине / В.Ю. Баталев, М.Н. Бердичевский, М.Л. Голланд и др. // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1989. № 9. С. 42–45.
2. Трапезников Ю.А. Магнитотеллурические зондирования в горах Киргизского Тянь-Шаня / Ю.А. Трапезников, Е.В. Андреева, В.Ю. Баталев и др. // Физика Земли. 1997. № 1. С. 3–20.
3. Баталева Е.А. О возможности использования магнитотеллурического зондирования для исследования тектонических нарушений в массивах горных пород / Е.А. Баталева, А.К. Рыбин, В.Ю. Баталев и др. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2005. № 3. С. 38–45.
4. Баталева Е.А. Опыт построения трехмерной геоэлектрической модели района Курайско-Чуйской системы впадин горного Алтая по данным электромагнитных зондирований / Е.А. Баталева, А.К. Рыбин, В.Ю. Баталев и др. // Вестник КРСУ. 2006. Т. 6. № 3. С. 104–112.
5. Buslov M.M., De Grave J., Bataleva E.A., Batalev V.Yu. Cenozoic tectonic and geodynamic evolution of the Kyrgyz Tien Shan Mountains: A review of geological, thermochronological and geophysical data // Journal of Asian Earth Sciences. V. 29. 2007. С. 205–214.
6. Рыбин А.К. Площадные магнитотеллурические зондирования в сейсмоактивной зоне Северного Тянь-Шаня / А.К. Рыбин, В.В. Спичак, В.Ю. Баталев и др. // Геология и геофизика. 2008. № 5. С. 445–460.
7. Бердичевский М.Н. Анализ и интерпретация магнитотеллурических данных / М.Н. Бердичевский, В.И. Дмитриев, Д.Б. Новиков и др. М.: МГУ, 1997. 161 с.
8. Бердичевский М.Н. Метод псевдорельефа – новый подход к анализу магнитовариационных и магнитотеллурических данных / М.Н. Бердичевский, В.А. Кузнецов // Физика Земли. 2006. № 8. С. 66–77.
9. Баталев В.Ю. Использование метода псевдорельефа при качественной интерпретации данных магнитотеллурического зондирования в Северном Тянь-Шане / В.Ю. Баталев, Е.А. Баталева, Н.Р. Насырканов // Вестник КРСУ. 2012. Т. 12. № 10. С. 111–115.
10. Баталев В.Ю. Применение метода псевдорельефа для территории Бишкекского геодинамического полигона / В.Ю. Баталев // ДАН. Т. 448. № 6. 2013. С. 706–710.
11. Баталева Е.А. Аномалии электропроводности зоны Таласо-Ферганского разлома и геодинамическая интерпретация глубинной структуры юго-западного Тянь-Шаня / Е.А. Баталева, М.М. Буслов, А.К. Рыбин и др. // Геология и геофизика. 2006. № 9. С. 1036–1042.
12. Баталев В.Ю. Глубинное строение западной части зоны Таласо-Ферганского разлома по результатам магнитотеллурических зондирований / В.Ю. Баталев, Е.А. Баталева, В.Е. Матюков и др. // Литосфера. 2013. № 3. С. 136–145.
13. De Grave J., Glorie S., Buslov M. M., Izmer A., Fournier-Carrie A., Batalev V. Yu., Vanhaecke F., Elburg M., Van den haute P. The thermo-tectonic history of the Song-Kul Plateau, Kyrgyz Tien Shan: constraints by apatite and titanite thermochronometry and zircon U/Pb dating // Gondwana Research. 2011. V. 20. J. 4. P. 745–763.