

Рис. 4. Сейсмический разрез по профилю 2 и профилю 4 (параллельным)

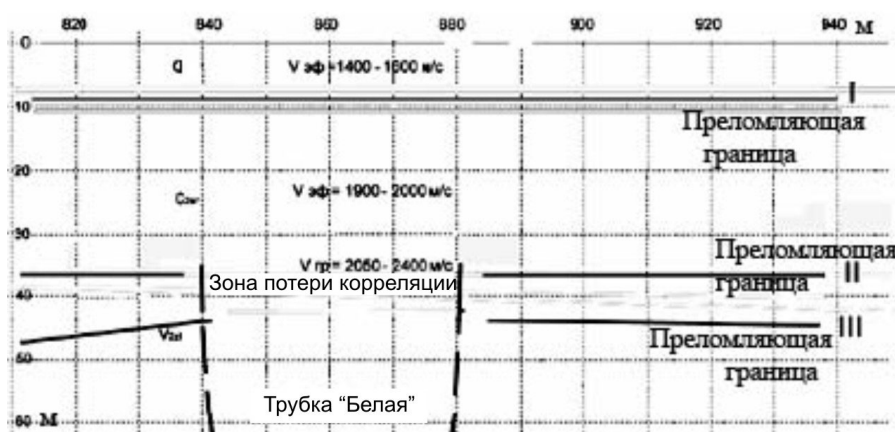


Рис. 5. Сейсмогеологический разрез по профилю 34 на трубке Белая

В верхней части вендских отложений присутствуют 2 сейсмических границы, которые выделяем в волновом поле. Так как все кимберлитовые тела прорывают отложения венда, то по потере корреляции горизонтов, отсутствию преломляющей границы в теле объекта, можно предположить присутствие разрывного нарушения. При наличии интрузивного тела, аналогичная ситуация повторяется и по другим профилям, секущим геофизическую аномалию.

Таким образом, показаны разные возможности применения малоглубинной сейсморазведки в комплексе с сейсмометрическими исследованиями для решения задач инженерно-геологического обследования сооружений и поиска аномальных зон в среде.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гурвич И. И. Сейсморазведка. // М.: Недра, 1975. 407 с.
2. Метод преломленных волн. // Под ред. Епинатьевой А.М. М.: Недра, 1990. 297 с.
3. Савицкая О.Д. Соловецкая крепость. // Архангельск: Правда Севера, 2005. 160 с.
4. Технический отчет о выполненных инженерных изысканиях на объекте: «Преображенская гостиница по Набережной бухты Благополучия, д. 2» в пос. Соловецкий // ОАО «Архангельск ТИСИЗ» Инв. № 14150.
5. Юдахин Ф.Н., Капустян Н.К., Антоновская Г.Н. Инженерно-сейсмические исследования геологической среды и строительных конструкций с использованием ветровых колебаний зданий. // Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 156 с.

#### ЛАБОРАТОРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ КОРОВЫХ И ВЕРХНЕМАНТИЙНЫХ КСЕНОЛИТОВ ИЗ ЩЕЛОЧНЫХ БАЗАЛЬТОВ КИРГИЗСКОГО ТЯНЬ-ШАНЯ

Баталев В.Ю., Баталева Е.А., Рыбин А.К.

Научная станция РАН, г. Бишкек, [bataleva@gdirc.ru](mailto:bataleva@gdirc.ru)

Лабораторные измерения электропроводности пород при изменяющейся температуре показали, что она возрастает с увеличением температуры. Вместе с тем реальная электропроводность меняется в достаточно широких пределах, что обусловлено зависимостью от типа пород, от температуры, наличия флюидов и частичных расплавов.

Основной целью проведенных экспериментальных исследований является привлечение данных по электропроводности пород для интерпретации результатов магнитотеллурических зондирования Тянь-Шанем этого региона и лучшего понимания глубинной структуры Земной коры и верхней мантии Земли для Тянь-Шаньского внутриконтинентального орогена в связи с геодинамическим состоянием Центральноазиатского региона. К настоящему моменту накоплен большой объем полевых данных и построены геоэлектрические и скоростные модели глубинного строения Тянь-Шаня. Для наиболее достоверной и полной интерпретации полученных результатов необходимо иметь данные по электрическим свойствам пород литосферы под Тянь-Шанем, которые могут быть определены при лабораторных измерениях электрических свойств ксенолитов.

Для интерпретации полевых магнитотеллурических данных использовались результаты лабораторного эксперимента по определению физических свойств пород при Р-Т условиях равновесия минеральных фаз, представленных в рассматриваемых ксенолитах нижней коры верхней мантии. Геодинамические процессы, вызываемые Индо-Азиатской коллизией, отражаются в геоэлектрической структуре земной коры, отображаемой в поведении корового проводящего слоя [1]. Электропроводность минералов и пород зависит от ряда факторов, таких как, РТ-условия их происхождения, химический состав, температура, давление, пористость, влажность и др. Данная работа является попыткой использовать свойства ксенолитов для уточнения (наложения ограничений) значений электропроводности в магнитотеллурических разрезах.

Выполнение работ было реализовано в три этапа:

**Создание температурной модели вдоль магнитотеллурического профиля по 76° ВД через Тянь-Шань.**

Расчет геотерм для реального разреза континентальной литосферы требует решения уравнений теплопроводности с определенными граничными условиями. Для экстраполяции измеренных на дневной поверхности значений температур на большие глубины использовались: распределение теплового потока на поверхности, распределение внутрикоровых радиогенных источников тепла, коэффициент теплопроводности.

Данные по тепловому потоку на поверхности вдоль МТ-профиля 76° ВД через Тянь-Шань были сняты с карты теплового потока Тянь-Шаня и Памира [2]. Вариации значений теплового потока оцениваются от 40 до 80  $\text{mW/m}^2$ . Кроме того, использовались новые геотермальные данные, полученные [3] в западном замыкании Иссык-Кульской впадины, согласно которым, значения теплового потока оцениваются в среднем около 48.3  $\text{mW/m}^2$ . Этот тепловой поток ниже оценок предыдущих наблюдений на 15  $\text{mW/m}^2$ . Данные по распределению верхнекоровых источников тепла также были сняты с разрезов (Shvarcman, 1986). Для расчета температурной модели использовалась геометрия слоев и блоков земной коры, полученная сейсмическими методами. Изменения коэффициента теплопроводности вдоль профиля оценивались от 1.2 до 2.8  $\text{W/m/K}$  и с глубиной от 2.3 до 3.4  $\text{W/m/K}$ . Граничными условиями на нижней границе модели являются: для первого варианта модели – температура на глубине 140 км зафиксирована  $T=1100^\circ\text{C}$ , для второго – на этой глубине зафиксирован тепловой поток 14  $\text{mW/m}^2$ . Сопоставление результатов показало, что модели для обоих вариантов очень близки.

Расчеты глубинной температурной модели производились во Франкфуртском университете с помощью программ COMSOL Multiphysics (Femlab). Результаты представлены на рис. 2

**Измерение электрических свойств эклогита и пироксенита при РТ-условиях, близких к условиям их образования в коре и верхней мантии.** Для лабораторных измерений использовались образцы эклогитов собранные на хр. Ат-Баши, Киргизстан. Измерения электропроводности образцов эклогитов с использованием импедансной спектроскопии производились во Франкфуртском университете под руководством Н. Багдасарова на установке «поршень – цилиндр». Измерения проводили при давлении 2 ГПа и при  $600 < T < 1300^\circ\text{C}$  (не достигая точки плавления). Конструкция измерительной ячейки описана в деталях в работе [4].

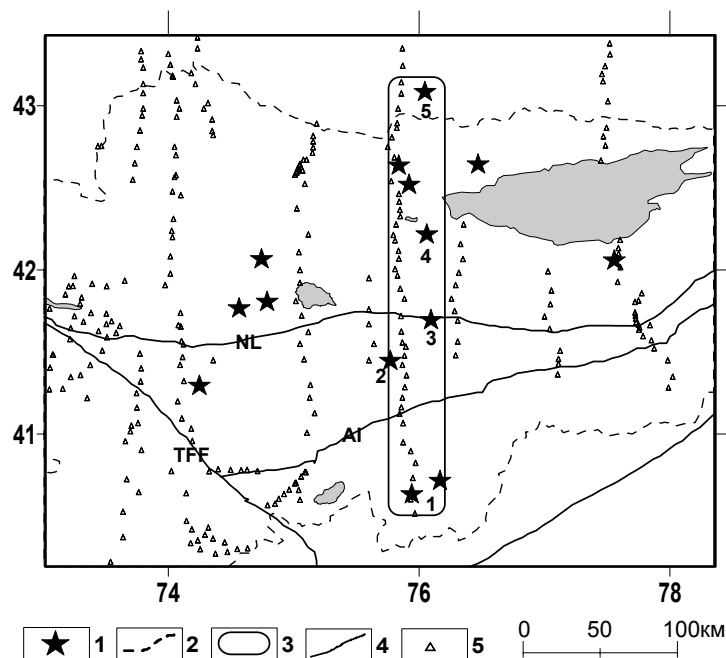


Рис. 1. Схема выходов базальтов вдоль магнитотеллурического профиля по меридиану 76° через Тянь-Шань.

1 – выходы базальтов: (1 – Терек, Текелик; 2 – Джанбулак; 3 – Байдулы; 4 – Учкудук; 5 – Кастек), 2 – граница Киргизстана, 3 – рассматриваемый магнитотеллурический профиль, 4 – крупные разломы, 5 – пункты магнитотеллурических зондирований

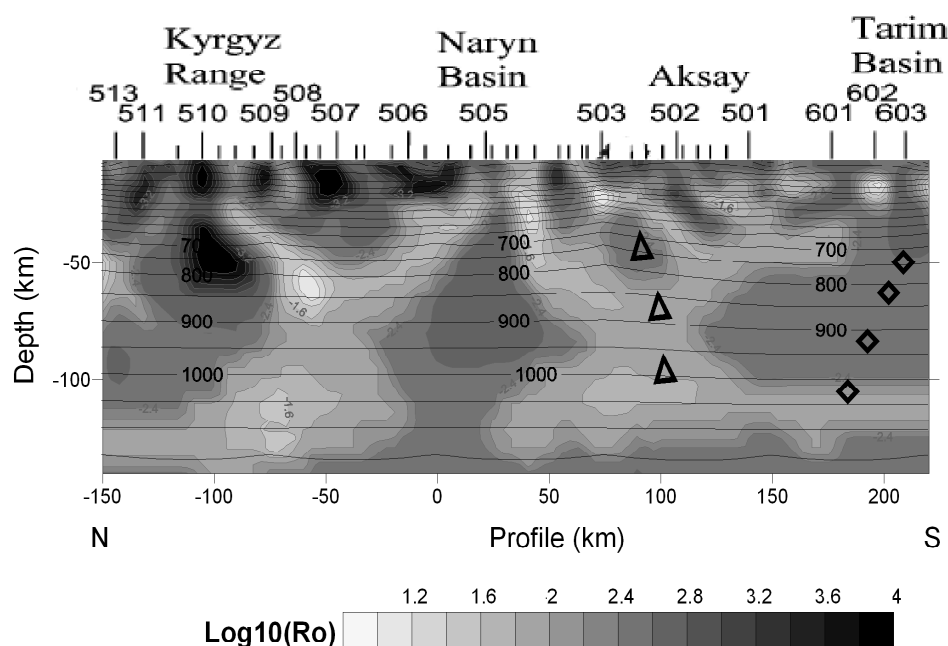


Рис. 2. Геоэлектрическая модель, построенная [1] для рассматриваемого профиля (сопротивления показаны цветом), с наложенной на неё температурной моделью, показанной изолиниями.

Значения температур приводятся в °C, на нижней границе зафиксирован тепловой поток 14 мВт/м². Вблизи Ат-Башинского хребта (502-503 пункты) на глубинах от 50 до 90 км расположен предположительно эклогитовый массив. Треугольники – точки определения значений температуры и сопротивления, используемые на рис. 3а. Ромбики под пунктами 601-602 – точки определения значений температуры и сопротивления, используемые на рис. 3б.

Эклогитовые образцы, используемые в данной работе, были описаны в статье Симонова В.А. [5]. Тянь-шаньские эклогитовые комплексы маркируют сутуру закрытия палеозойского океанического бассейна. Они были сформированы породами офиолитовой ассоциации в результате их погружения в зоне субдукции. Впоследствии они были выжаты на поверхность в структурах тектонического меланжа. Образцы эклогитов содержат гранат, клинопироксен (омфацит), глаукофан, фенгит, клиноцизит. На основе химического состава сосуществующих минералов были выполнены термобарометрические вычисления. Получены следующие оценки РТ- параметров:  $T=670-700^{\circ}\text{C}$  и  $P=23.3-23.6$  Кбар для гранат-пироксенового термометра [6] и для гранат-пироксен-фенгитового барометра [7]. В случае применения клинопироксенового термометра [8] оценки значений температур составили –  $690-720^{\circ}\text{C}$  при том же давлении. Общее поведение графика  $R_o\text{-lab}(T)$  представлено на рис 3 а). По сравнению с электропроводностью эклогитов из других регионов, Ат-Башинские эклогиты характеризуются более высокой проводимостью. Используя данные о геоэлектрическом строении зоны Ат-Башинского хребта, где были взяты образцы эклогитов, можно провести **сопоставление результатов лабораторных измерений с данными магнитотеллурического профилирования.**

Геоэлектрическая модель, созданная для рассматриваемого профиля [1] была скомбинирована с тепловой моделью, описанной выше. Наложение геоэлектрической и тепловой моделей позволило оценить зависимость электросопротивления глубинных массивов пород от температуры  $R_o\text{-mt}(T)$  (рис. 2.).

Такой подход предполагает, во-первых, сканирование геоэлектрической модели и выделение однородных блоков с плавным распределением проводимости (возрастанием с глубиной), в которых отсутствуют локальные аномалии электропроводности. Во-вторых, вдоль субвертикальной оси через выделенный однородный массив модели снимаются значения электропроводности от температуры, для сопоставления этих данных с результатами лабораторных измерений. Выделяемый блок (массив) геоэлектрической модели должен находиться на глубинах, соответствующих предполагаемой для исследуемого образца (типа пород) фации метаморфизма.

Сопоставление данных лабораторных измерений электропроводности эклогитов  $R_o\text{-lab}(T)$  с Ат-Башинского хребта с данными, снятыми с геоэлектрических и тепловых разрезов около Ат-Башинского хребта  $R_o\text{-mt}(T)$  показаны на рис. 3а. Наблюдается хорошая сходимость между электропроводностью измеренной на образцах эклогитов и электропроводностью эклогитового(?) массива оцененной по комбинированному геоэлектрическому – температурному разрезу. Эти результаты позволили подтвердить предположение о присутствии

эклогитового массива под Ат-Башинским хребтом. Образцы пироксенитовых ксенолитов, которые использовались для лабораторных измерений  $\sigma(T)$  с целью наложения ограничений на магнитотеллурические разрезы создаваемые для территории Тянь-Шаня, были собраны в выходах щелочных базальтов в урочище Ак-Сай, р. Орто-Суу. Вероятно, наиболее точно было бы называть породу, представленную в образцах ксенолитов, апо-пироксенитом, который является продуктом метасоматических изменений перидотитов. Апо-пироксениты возникают в результате взаимодействия водонасыщенных расплавов с перидотитовым материалом при высокой температуре и характеризуются высоким содержанием железа в оливинах  $Mg\# = 0.80$  (расчеты по мольным долям). Образцы пироксенита содержат оливин в качестве второстепенной фазы, ортопироксен и клинопироксен и в небольшом количестве плагиоклаз. Исследования пироксенитовых образцов, с использованием импедансной спектроскопии на установке «поршень-цилиндр» проводились при давлении 7 Кбар и температурах  $500 < T < 1200^\circ\text{C}$ , не достигая точки плавления. Измерения электропроводности пироксенитовых образцов выполнялось с использованием той же методики, что и для образцов эклогитов. Общий характер поведения графика результатов измерений представлен на рис. 3б.

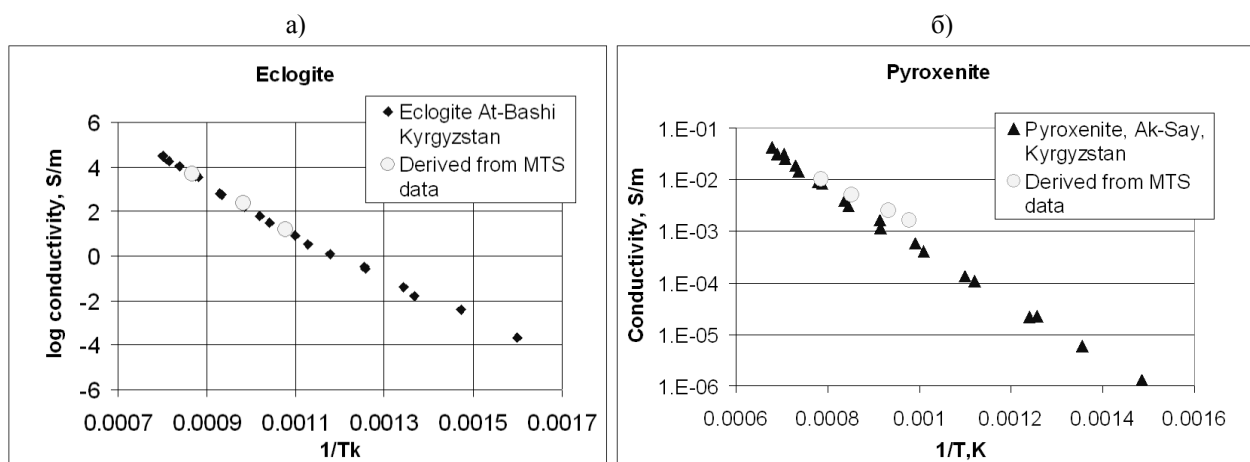


Рис. 3. Сопоставление результатов, полученных при лабораторных экспериментах

а) – на образцах эклогитов с Ат-Башинского хребта, Киргизстан, и б) – на образцах пироксенитовых ксенолитов из урочища Ак-Сай, Киргизстан, с данными, снятыми с геоэлектрических моделей МТЗ (рис. 2).

Эти измерения и сопоставление лабораторных и полевых данных – попытка наложения ограничений на значения электропроводности для геоэлектрических моделей Центрально-Азиатского региона и первый опыт проведения петрологической интерпретации этих моделей. Наблюдается хорошая сходимость (особенно в высокотемпературной части сопоставляемых данных) между электропроводностью пироксенитовых ксенолитов, измеренной в лабораторных условиях, и электропроводностью на разрезах, построенных по магнитотеллурическим данным под урочищем Ак-Сай (рис.2). Таким образом, результаты сопоставления свидетельствуют о пироксенитовом составе массива под урочищем Ак-Сай.

## ЛИТЕРАТУРА

1. 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.Vol. 30, No. 15, 180610.1029/2003 GL017455 08 August 2003.
2. Shvarcman Yu.G. Lithosphere of Tien Shan, M.: Nauka, 1986. P. 129-141.(in Russian).
3. Vermeesch, P., Poort, J., Duchkov, A. D., Klerckx, J., and De Batist, Lake Issyk-Kul (Tien Shan): Unusually low heat-flow in an active intermontane basin: Russian Geology and Geophysics, 2004, v.45, n.5, pp. 616-625.
4. Maumus, J., Bagdassarov, N.S., Schmeling, H., 2005. Electrical conductivity and partial melting of mafic rocks under pressure. Geochim. Cosmochim. Acta 69 (19), 4703-4718.
5. Simonov V.A., Cakiev K.S., Volkova N.I., Stupakov S.I., Travin A.V. Conditions of eclogites generation beneath At-Bashi ridge (South Tien Shan), Russian Geology and Geophysics 2007 (in press)
6. Powell R. Regression diagnostics and robust regression in geothermometer/ geobarometer calibration: the garnet-clinopyroxene geothermometer revised // Journal of Metamorphic Geology, 1985, V. 6, P. 173-204.
7. Waters, D.J., Martin, H.N. Geobarometry in phengite-bearing eclogites. // Terra Abstracts, 1993, V. 5, P. 410-411.
8. Ellis D.J., Green D.R. An experimental study of the effect of Ca upon garnet-clinopyroxene Fe-Mg exchange equilibria // Contributions to Mineralogy and Petrology, 1979, V. 71, P. 13-22.