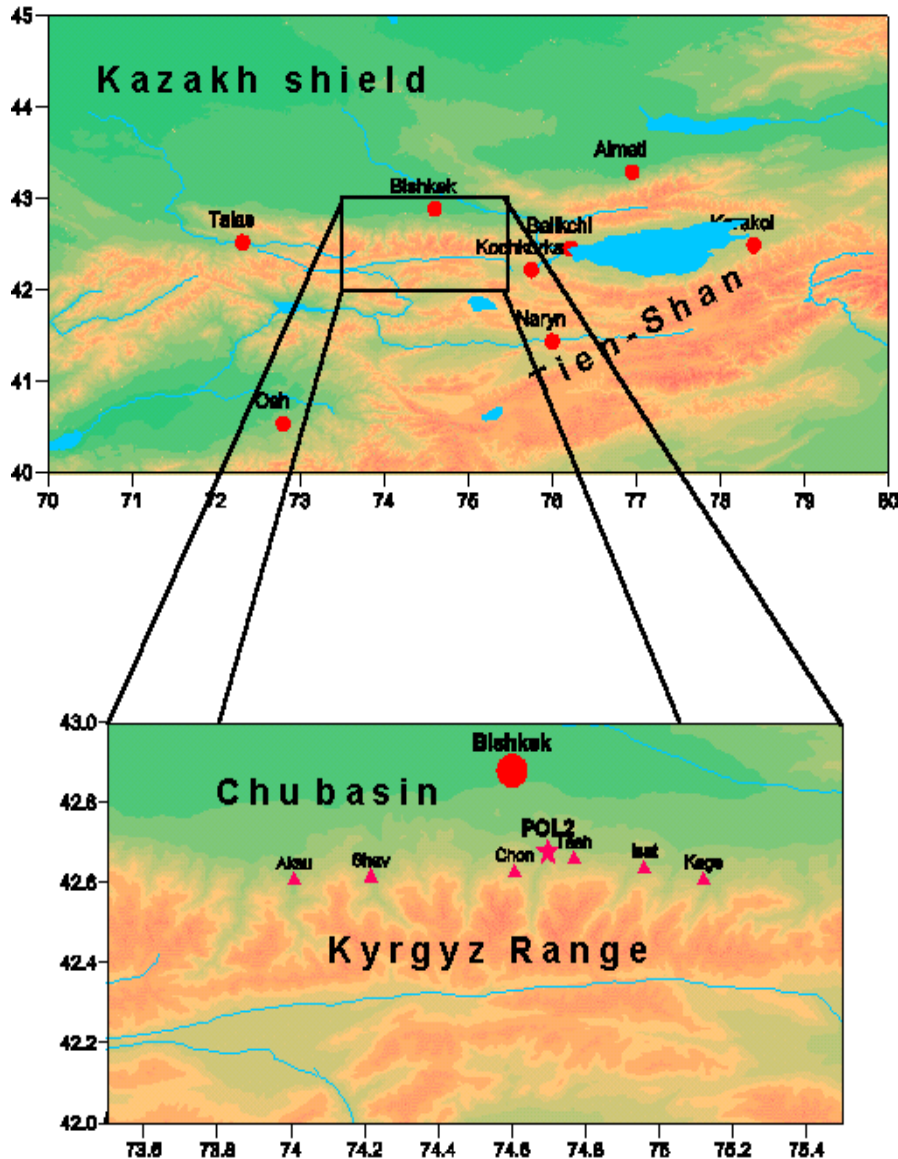


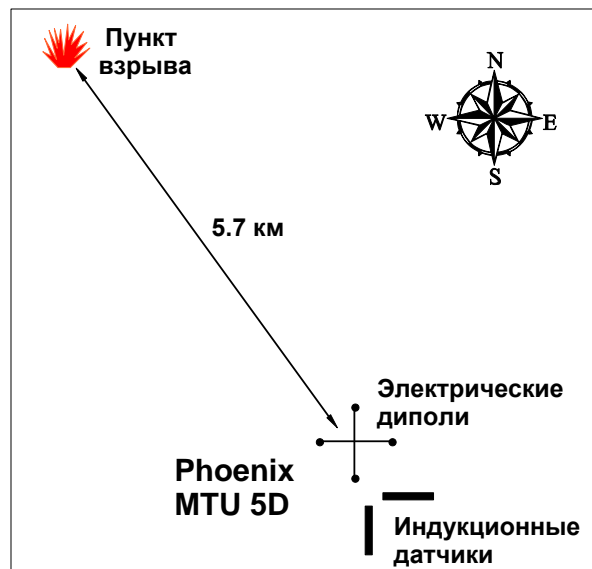
ПРОЯВЛЕНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ВАРИАЦИЯХ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ



Для изучения влияния геодинамических процессов, протекающих в земной коре Тянь-Шаня на её электропроводность, Научная станция РАН в г. Бишкеке и Канадская компания «Phoenix Geophysics», Торонто в 2003 году совместно установили на территории Бишкекского геодинамического полигона (БГП) две станции магнито-теллурического (МТ) мониторинга Phoenix MTU-5D. В связи со значительной анизотропией электрических свойств среды, обусловленной резко неоднородным геологическим строением БГП, для тонкого анализа процессов отражающихся в мониторинговых МТ-наблюдениях предлагается рассматривать временные ряды вариаций компонент тензора импеданса в зависимости от азимута α , а не только по направлениям x_u и x_v , (т.е. 0° и 90°), по которым производились измерения тензора импеданса.

*Научная станция РАН в г. Бишкеке
2011г*

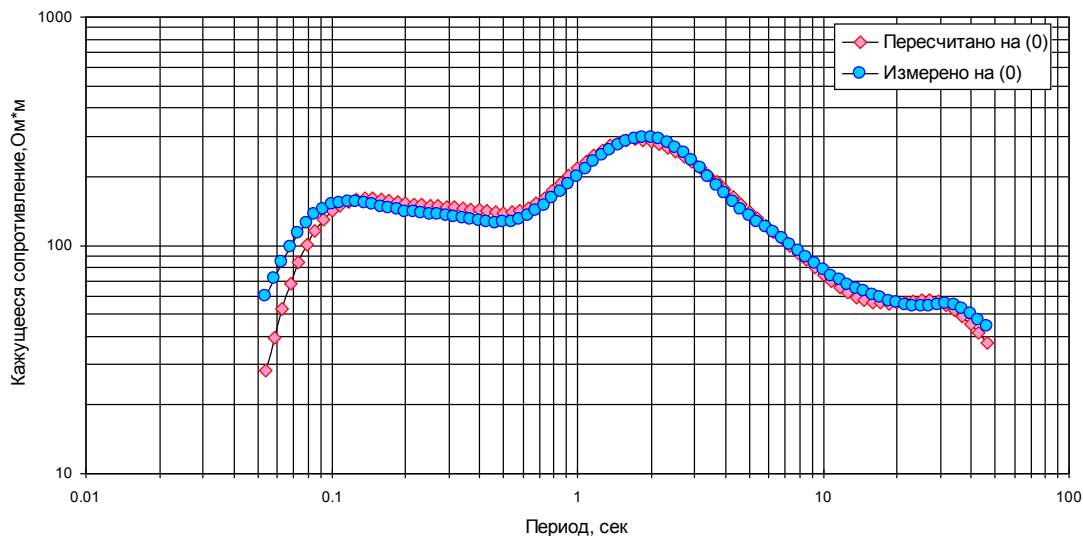
Прежде чем анализировать временные ряды МТ- мониторинга на БГП, рассмотрим возможные способы и подходы определения ориентационных характеристик вариаций электропроводности на примере Камбаратинского промышленного взрыва, где как нам представляется, была подтверждена реальность существования реакции среды в виде вариаций электросопротивления на изменение тектонических напряжений. Полученные в результате проведенных сейсмических наблюдений данные позволили установить наличие обусловленных взрывом подвижек по разлому, прилегающему к пункту взрыва, а также зафиксировать серию наведенных слабых сейсмических событий. Камбаратинский эксперимент (22 декабря 2009 г) включал в себя сейсмологические, электромагнитные и GPS наблюдения, выполненные силами Научной станции РАН. Мощность промышленного взрыва составляла 2.8 Кт в тротиловом эквиваленте. Расстояние от пункта взрыва до магнитотеллурической станции Phoenix MTU 5D равнялось 5.7 км.



Производилась регистрация двух горизонтальных компонент электрического поля и трех компонент магнитного поля. МТ-зондирования выполнялись в течение суток до момента взрыва и двух суток после взрыва. Таким образом, компоненты тензора импеданса определялись по направлениям x_u и u_x , (т.е. 0° и 90°) в течение трех суток. Всё время регистрации (около 70 час) было разделено на непересекающиеся пронумерованные интервалы (Т) продолжительностью по одному часу для независимой обработки. Обработка МТ-реализаций такой продолжительности обеспечивает устойчивое определение значений тензора импеданса на периодах около 100 сек, что значительно превышает требуемую глубину исследований (10-15 км по данным распределения гипоцентров землетрясений).

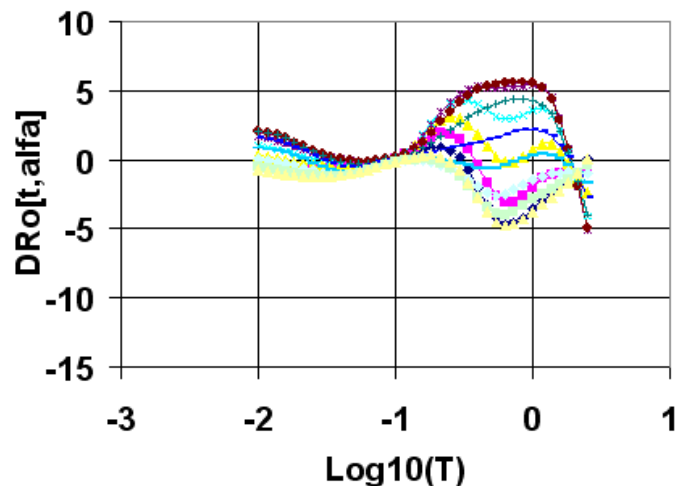
Следующим этапом обработки данных Камбаратинского эксперимента являлся пересчет значений тензора импеданса для каждой из часовых реализаций на азимуты α через 15° и вычисление средних кривых кажущегося сопротивления до момента взрыва по каждому направлению $R_{o-av}[\alpha]$. Вычисление отклонения $DR_{o}[t, \alpha]$ текущей ориентированной кривой кажущегося сопротивления $R_{o}[t, \alpha]$ от средней кривой $R_{o-av}[\alpha]$ по всем часовым интервалам и для всех рассматриваемых азимутов является итоговой процедурой по расчету азимутальных характеристик вариаций электросопротивления. Азимутальные характеристики временных рядов вариаций компонент тензора импеданса могут быть представлены как в виде псевдоразрезов, так и в виде семейств ориентированных кривых.

Оценка точности пересчета значений тензора импеданса на произвольный азимут производилась с помощью специальных работ методом МТЗ с аппаратурой Phoenix MTU-5D. После выполнения МТ-зондирований в обычном режиме, измерительные установки станций были развернуты на 45° и вновь выполнены зондирования. На рисунке показано сопоставление кривых кажущегося сопротивления, измеренных по азимуту 0° с кривыми, измеренными на азимуте -45° и пересчитанными на азимут 0° . С учетом точности единичного измерения, погрешность пересчета является вполне удовлетворительной. Стандартная среднеквадратичная погрешность составляет $\pm 1.30 \text{ Ом}^* \text{ м}$.

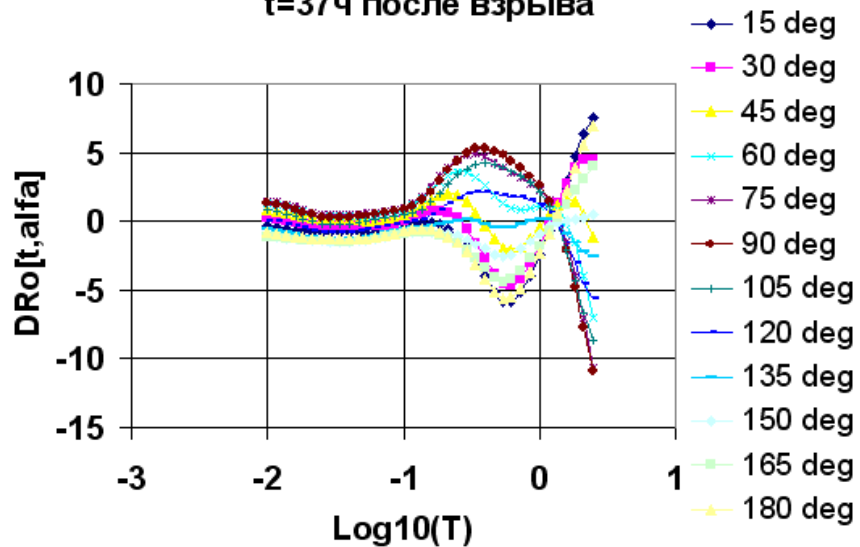


Сопоставление кривых кажущегося сопротивления, измеренных по азимуту 0° с кривыми, измеренными на азимуте -45° и пересчитанными на азимут 0° .

t=36ч после взрыва



t=37ч после взрыва



На этом слайде представлены семейства ориентированных кривых отклонения кажущегося сопротивления $DRo[36, \alpha]$ и $DRo[37, \alpha]$ от средних значений $Ro_{av}[\alpha]$ до взрыва в зависимости от периода МТ-зондирования, для 36 и 37-го часа после момента взрыва. Рассмотрим поведение этих вариаций в зависимости от периода МТ-зондирования и азимутов α . Обращает на себя внимание то, что для 36-го и для 37-го часа в интервале периодов $-2 < \log_{10}(T) < -0.7$; ($0.01 < T < 0.2$ сек) вариации электросопротивления по всем азимутам очень близки к нулю. Это свидетельствует о том, что в указанном интервале периодов (эффективная глубина проникновения поля от ~ 0.6 км до ~ 2 км) существенных изменений электросопротивления во времени не происходит. Далее для периодов $-0.7 < \log_{10}(T) < 0.1$, ($0.2 < T < 1.2$ сек), что соответствует эффективной глубине проникновения поля от ~ 2 км до ~ 5 км) наблюдается анизотропное изменение значений электросопротивления: для азимутов 75° - 90° наблюдается возрастание, а для ортогонального направления 0° - 15° наблюдается уменьшение. Такое поведение наблюдается практически для всех часовых интервалов МТЗ после взрыва, за исключением сильно зашумленных.

Пример семейств ориентированных кривых МТЗ $DRo[t, \alpha]$ во время Камбаратинского эксперимента для 36 и 37-го часа после взрыва: $t=36$, $t=37$, α от 15° до 180° , T -период МТ-зондирования.

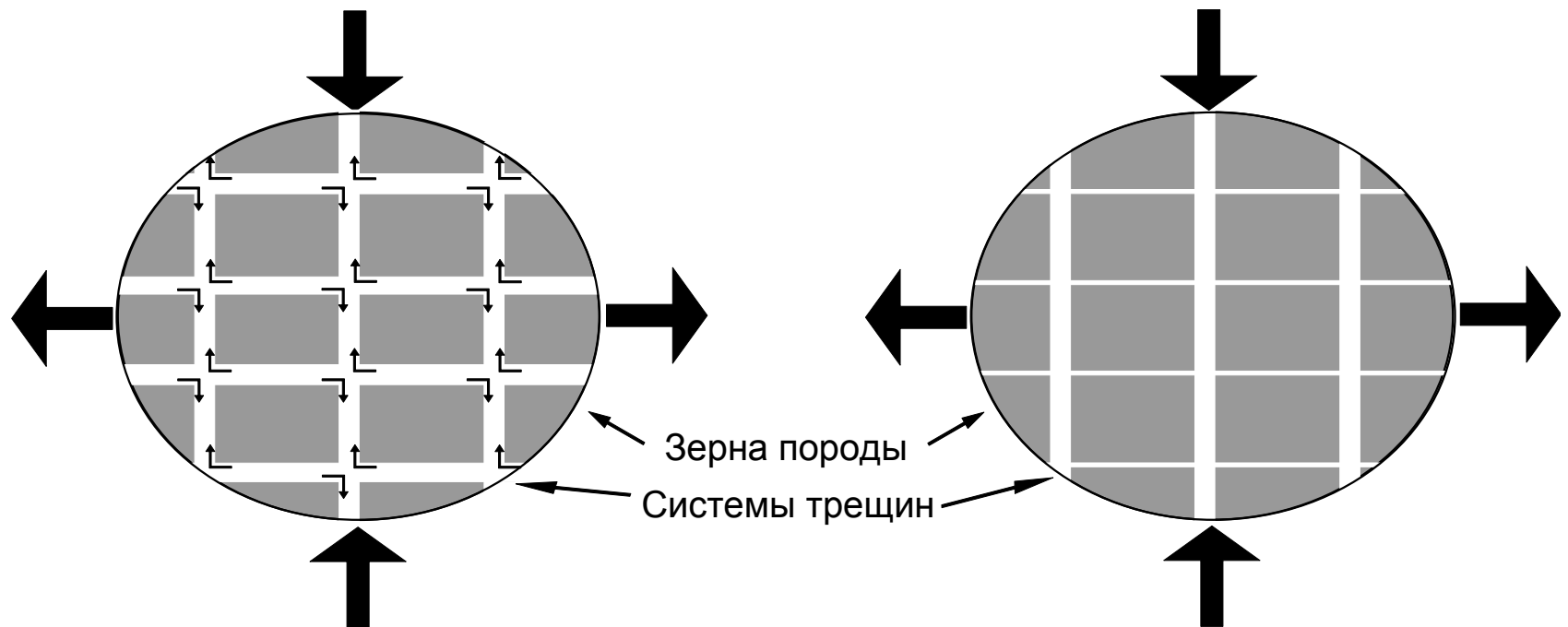
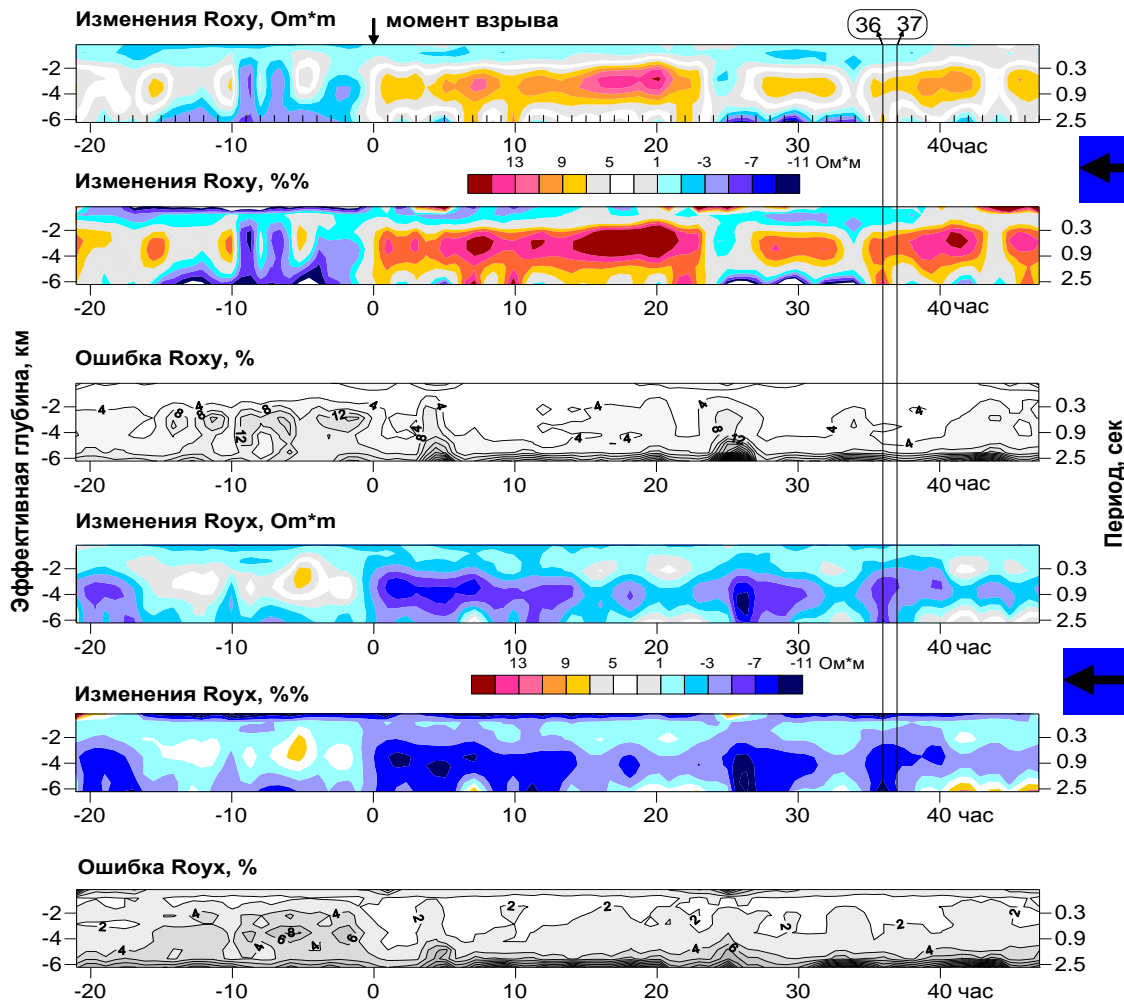


Схема перераспределения флюида между системами трещин в массивах горных пород, вызывающая увеличение электропроводности вдоль оси сжатия и уменьшение электропроводности по ортогональному направлению [1].

На основе анализа зависимостей вариаций электропроводности в массивах горных пород от азимутов, могут быть получены дополнительные ориентационные характеристики процесса изменения тектонических напряжений для сопоставления с другими геофизическими параметрами, имеющими зависимость от азимута. В качестве рабочей гипотезы для объяснения вариаций кажущегося сопротивления, связанных с изменением напряженно-деформированного состояния геологических объектов, используется гипотеза о перераспределении флюида между системами трещин, пронизывающими геологические тела и обладающими различной ориентацией [1]. Для такой феноменологической модели очень наглядно выглядит уменьшение электросопротивления в интервале периодов $-0.7 < \text{Log}_{10}(T) < 0.1$ ($0.2 < T < 1.2$ сек) по азимутам около $0-15^\circ$, что свидетельствует о сжатии, имеющем место по этому направлению. Увеличение электросопротивления по ортогональным азимутам (около 90°) подтверждает правильность рассматриваемой гипотезы. Для периодов более 3 секунд точность определения компонент тензора импеданса недостаточна и, соответственно, эти периоды не рассматриваются.




Увеличение электросопротивления по азимуту 0° в интервале периодов 0.2 – 1.2 сек, эф. глубины 2-5 км

Напряженно-деформационное состояние среды изменилось после реализации наведенных Кампаратинским взрывом сейсмических событий


Уменьшение электросопротивления по азимуту 90° в интервале периодов 0.2 - 1.2 сек, эф. глубины 2-5 км

Временные ряды вариаций компонент тензора импеданса представленные в виде псевдоразрезов по направлениям xy и yx , (т.е. 0° и 90°).


Для рассматриваемой феноменологической модели очень наглядно выглядит уменьшение электросопротивления в интервале периодов $0.2 < T < 1.2$ сек по азимутам около 90° (Ro_{yx}), что свидетельствует о сжатии, имеющем место по этому направлению. Увеличение электросопротивления по ортогональным азимутам около 0° (Ro_{xy}), подтверждает правильность рассматриваемой гипотезы. Для периодов более 3 секунд точность определения компонент тензора импеданса недостаточна и, соответственно, эти периоды не рассматриваются.

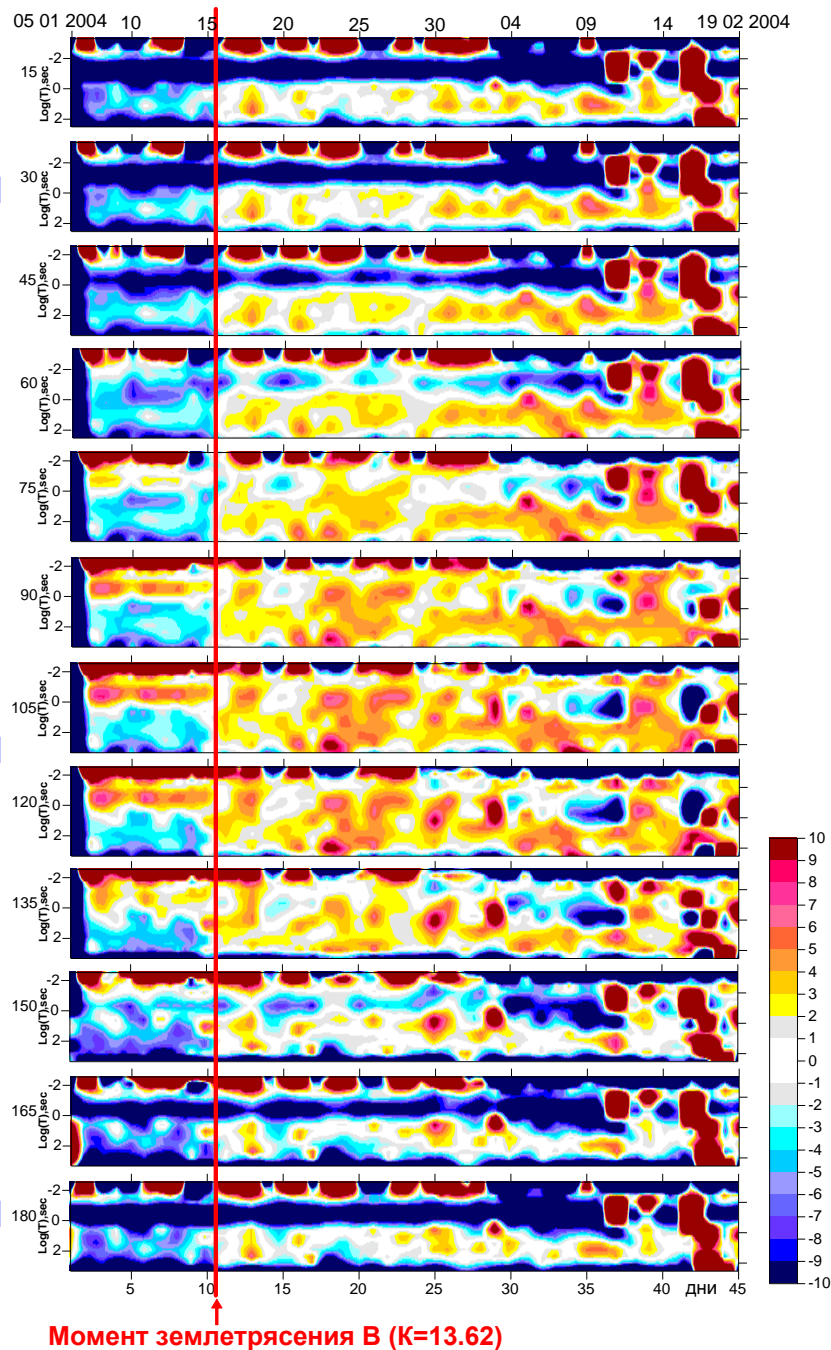
Уменьшение электро-
сопротивления по
азимутам 15°-45° в 
интервале периодов 0.25-1
сек, эф. глубины 2-5 км

Временные ряды МТ-
мониторинга на БГП
пересчитанные на
азимуты через 15°
(станция Ак-Суу, 2004)

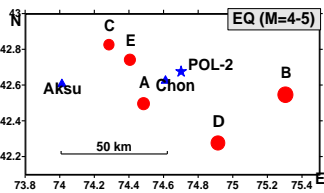
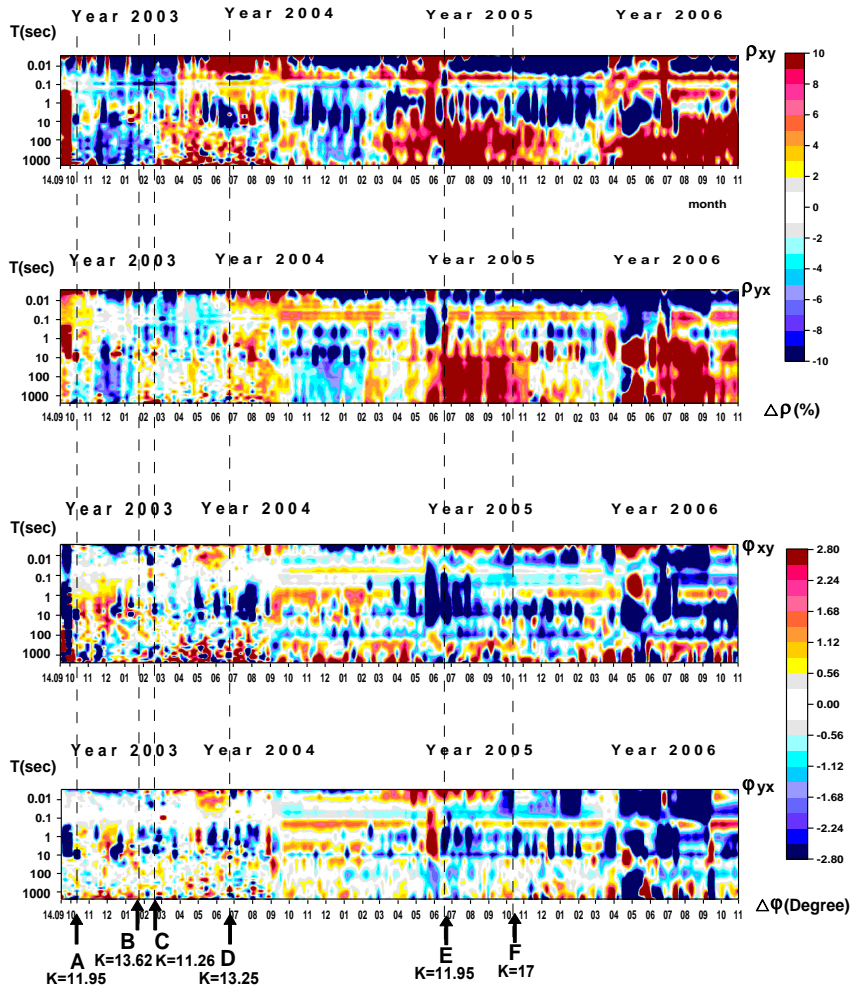
Увеличение электро-
сопротивления по
азимутам 90°-120° в 
интервале периодов 0.25-1
сек, эф. глубины 2-5 км

Напряженно-дефор-
мационное состояние
среды изменилось
после землетрясения
В (K=13.62)

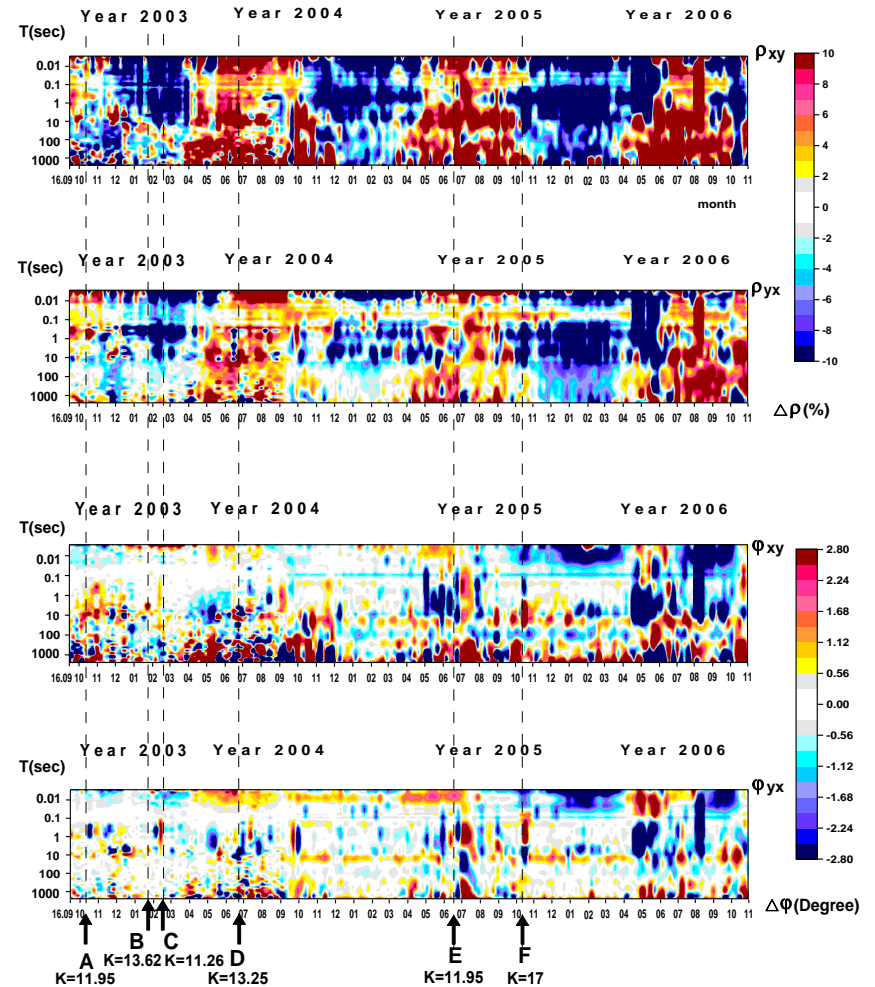
Уменьшение электро-
сопротивления по
азимутам 165°-180° в 
интервале периодов 0.25-1
сек, эф. глубины 2-5 км



Aksu-mon

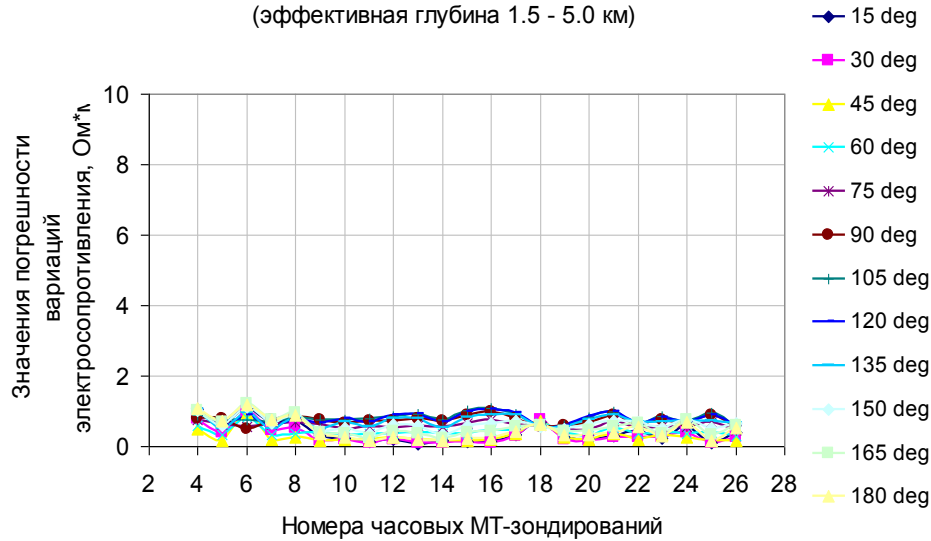


Chon-mon

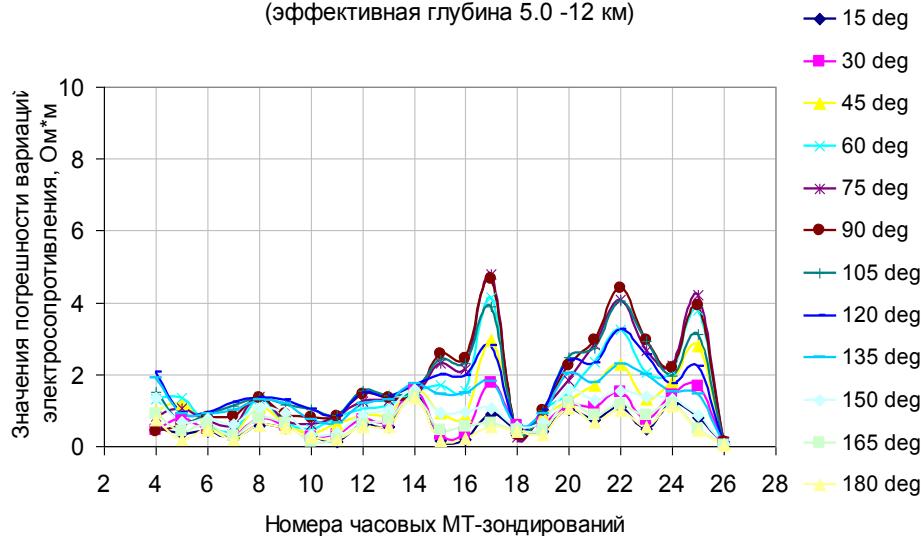


На стационарных пунктах Ак-Суу и Чон-Курчак с 2003 года проводятся мониторинговые магнитотеллурические наблюдения, результаты которых представляются в виде псевдоразрезов кажущихся сопротивлений и фаз только по направлениям 0° (R_{0xy}) и 90° (R_{90yx}).

Средняя квадратическая погрешность вариаций
 электросопротивления для интервала периодов 0.1-2.5сек
 (эффективная глубина 1.5 - 5.0 км)



Средняя квадратическая погрешность вариаций
 электросопротивления для интервала периодов 2.5 - 25сек
 (эффективная глубина 5.0 -12 км)

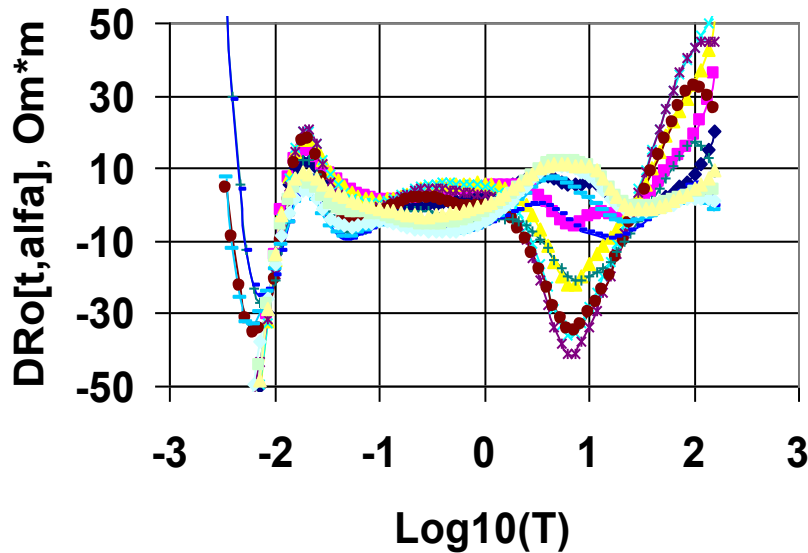


Начиная с 2010 года, на территории БГП выполняются специальные работы по изучению азимутальных вариаций электропроводности на пункте Алмалы. Здесь приводятся результаты контрольных измерений двумя станциями Phoenix MTU-5D для оценки точности определения азимутальных характеристик вариаций электропроводности.

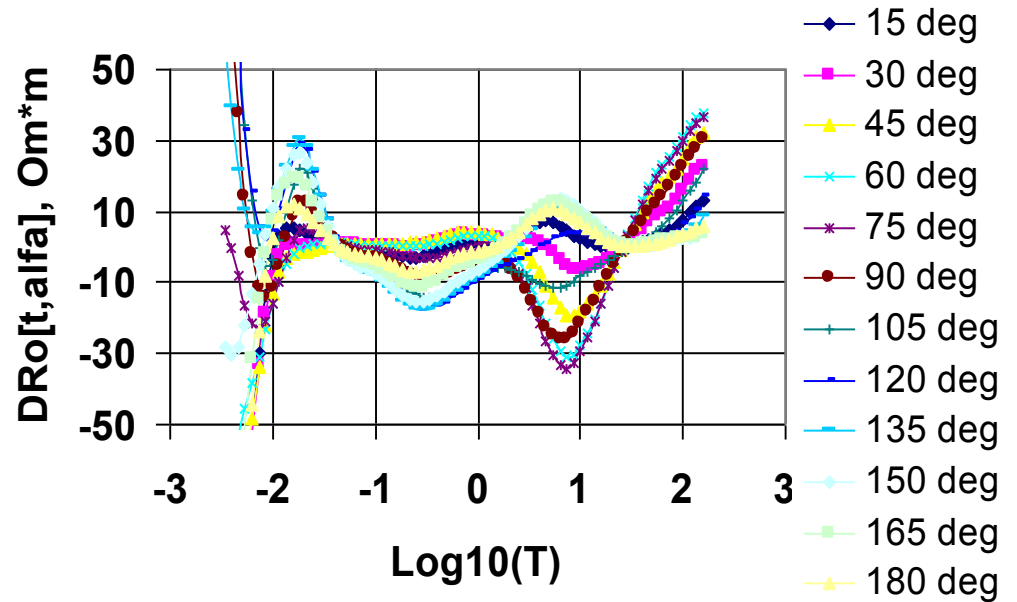
На верхней панели рассматривается диапазон периодов от 0.1 до 2.5 сек. В этом интервале среднеквадратическое отклонение не превышает одного Ом*м, в отличие, от приведенного на нижней панели диапазона периодов от 2.5 до 25 сек, величина среднеквадратического отклонения в котором для некоторых часовых МТ-зондирований достигает четырех Ом*м. Обращает на себя внимание, что в целом значения вариаций электропроводности для рассматриваемых диапазонов периодов значительно превосходят среднеквадратическое отклонение, т.е. рассматриваемые оценки амплитуд вариаций являются надежными.

Распределение среднеквадратического отклонения от среднего для ориентированных кривых вариаций электропроводности для двух станций Phoenix MTU-5D №1571 и №1918

Феникс#1571 Алмалы 19час



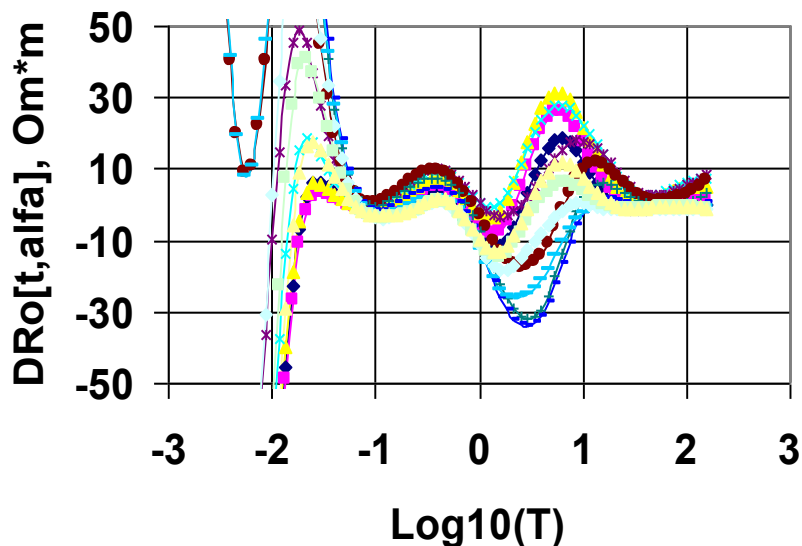
Феникс#1918 Алмалы 19час



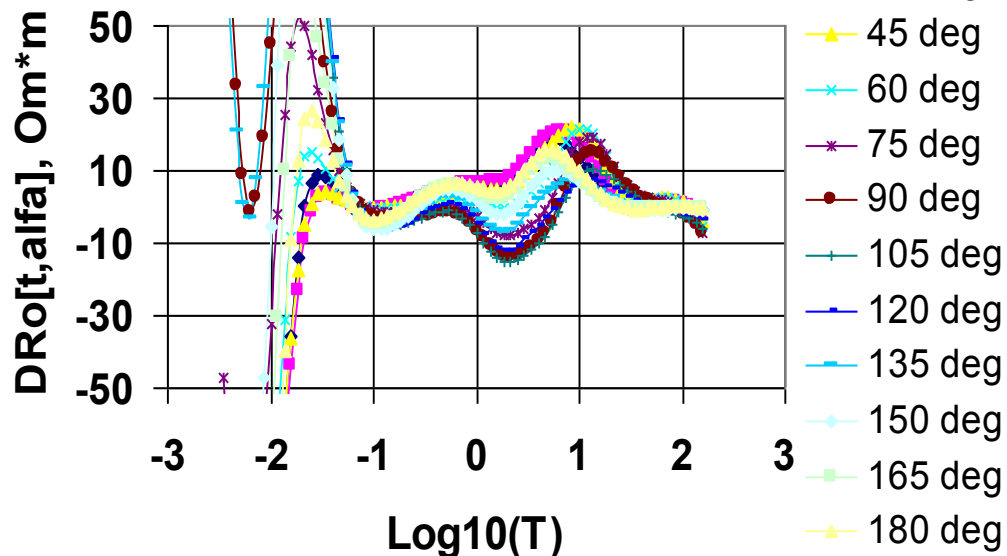
Результаты синхронных измерений для определения точности оценки азимутальных характеристик вариаций электропроводности на пункте Алмалы (для 19-ой часовой реализации).

Уделим особое внимание интервалам периодов, от ~ 0.1 сек до 2.5 сек и от 2.5 сек до 25 сек. ($-1 < \text{Log}_{10}(T) < 0.4$ и $0.4 < \text{Log}_{10}(T) < 1.4$). В отличие от данных Камбаратинского эксперимента, где в интервале периодов от 0.01 сек до 0.1 сек вариации электросопротивления близки к нулю, данные по пункту Алмалы содержат в этом диапазоне периодов синхронные по обеим станциям вариации большой амплитуды. Однако, они исключаются из рассмотрения из-за малой глубинности, соответствующей этому диапазону, и возможного влияния метеорологических факторов.

Феникс#1571 Алмалы 04час

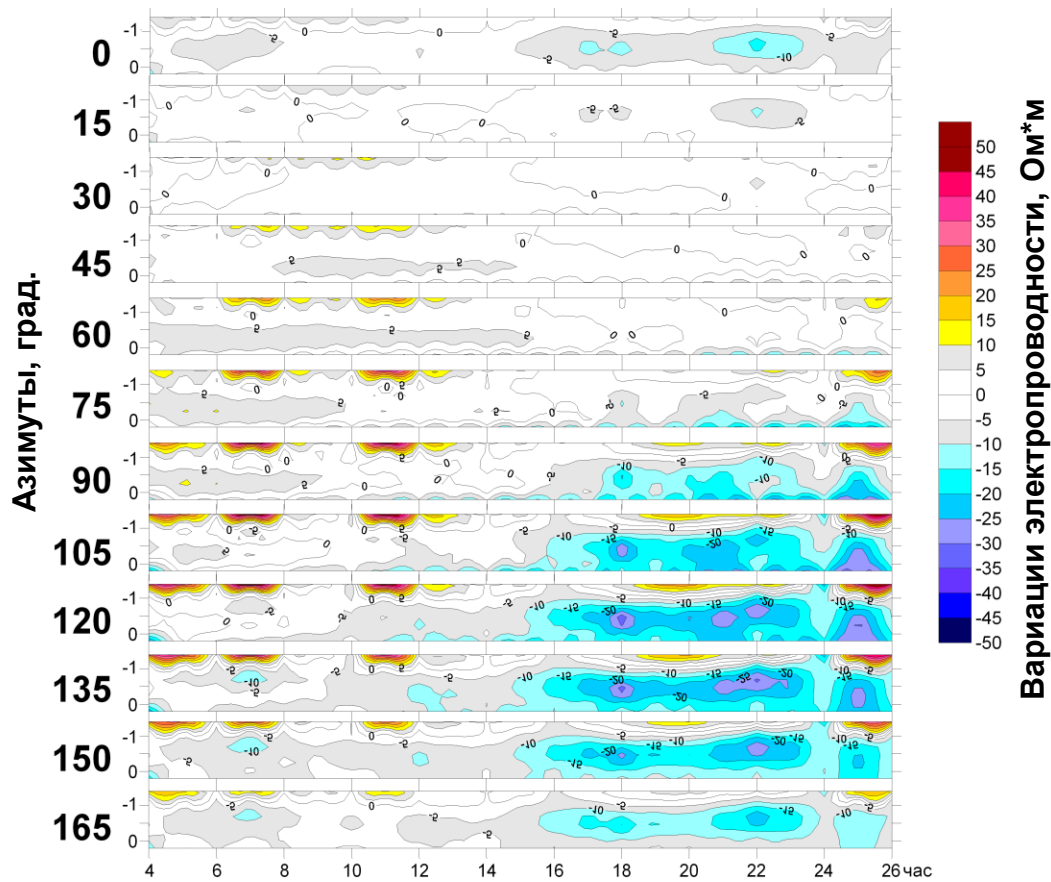


Феникс#1918 Алмалы 04час

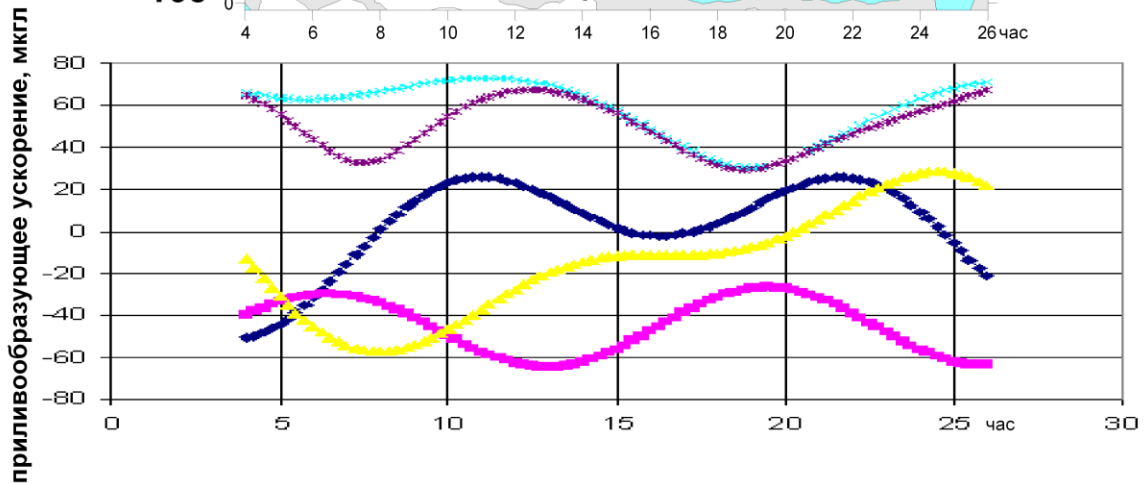


Результаты синхронных измерений для определения точности оценки азимутальных характеристик вариаций электропроводности на пункте Алмалы (для 4-ой часовой реализации).

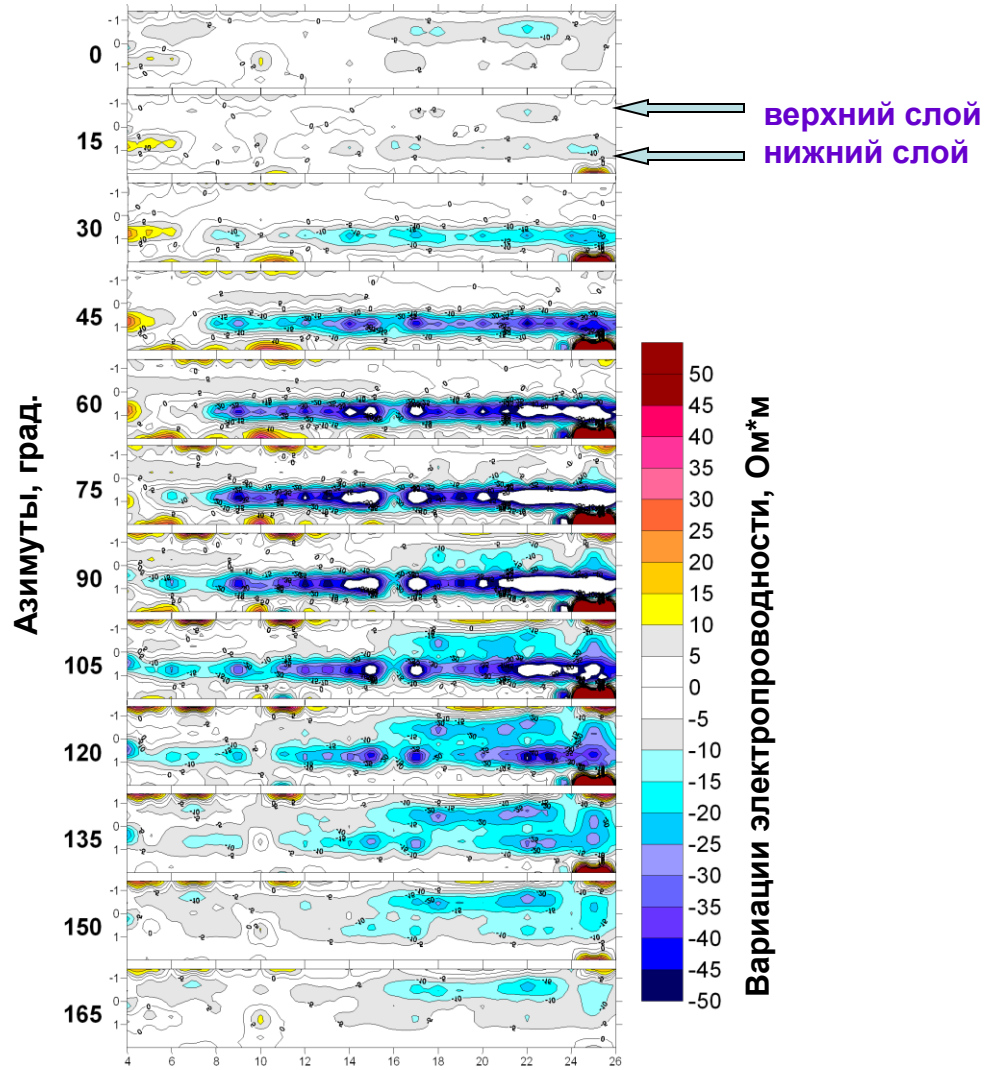
В интервале периодов приблизительно от 0.1сек. до 2.5 сек так же, как и в данных по Камбаратинскому эксперименту наблюдается возникновение и некоторые изменения вариаций электросопротивления на всех часовых МТ-зондированиях. Таким образом, в рассматриваемом диапазоне периодов, отражающем эффективную глубину проникновения поля от ~1.5 до ~5.0 км, как в пункте Алмалы, так и в пункте Камбарата присутствуют вариации электросопротивления, в том числе и по ортогональным направлениям в «противофазе», что подтверждает гипотезу [1] о перераспределении флюидов по системам трещин в связи с изменением напряженно-деформационного состояния среды.



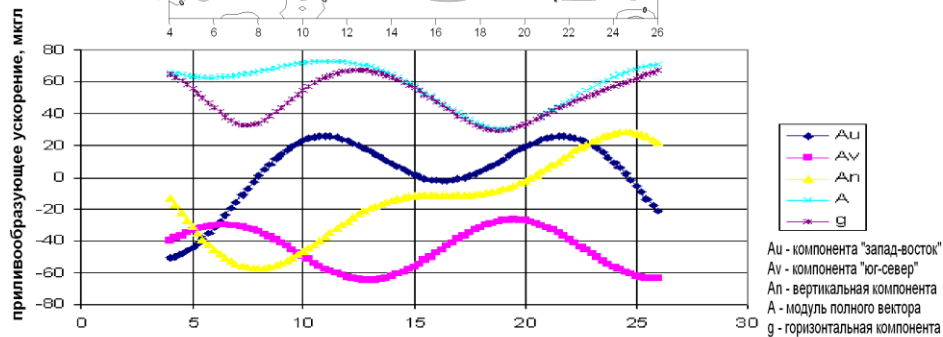
Сопоставление компонент приливообразующего ускорения с вариациями электропроводности в пункте Алмапы для интервала эффективных глубин 2-5 км (верхний слой) Вариации электропроводности представляются в виде псевдоразрезов кажущихся сопротивлений по направлениям через 15°.



Au - компонента "запад-восток"
 Av - компонента "юг-север"
 An - вертикальная компонента
 A - модуль полного вектора
 g - горизонтальная компонента



Сопоставление компонент приливообразующего ускорения с вариациями электропроводности в пункте Алмалы для интервала эффективных глубин 2-5 км (верхний слой) и 5-12км (нижний слой)



Выводы:

-При разбиении длительных МТ-записей на непересекающиеся часовые реализации с независимой последующей обработкой данных было обнаружено, что величина кажущегося сопротивления закономерно меняется во времени для некоторых интервалов периодов.

-Наблюдаемые по ортогональным азимутам вариации электропроводности противоположного знака подтверждают гипотезу о перераспределении флюида в поровом пространстве при изменении напряженно деформационного состояния среды [1].

-Контрольные наблюдения в пункте Алмалы, выполненные двумя станциями Phoenix MTU-5D, показали хорошую сходимость «ориентированных» вариаций электропроводности для обеих станций.

Литература

1. Bogomolov L, Bragin V., Fridman A., Makarov V., Sobolev G., Polyachenko E., Schelochkov G., Zeigarnik V., Zubovich A. (2007) Comparative analysis of GPS, seismic and electromagnetic data on the Central Tien Shan Territory, Tectonophysics, Vol. 431, p. 143-151