

Рис. 1. Геологические профили вкост Чункурчакского прогиба.
 1 - деформированная кровля пенепленизированного палеозойского фундамента: установленная (а) и предполагаемая (б); 2 – разломы: установленные (а) и предполагаемые (б); 3 - трещиноватость.

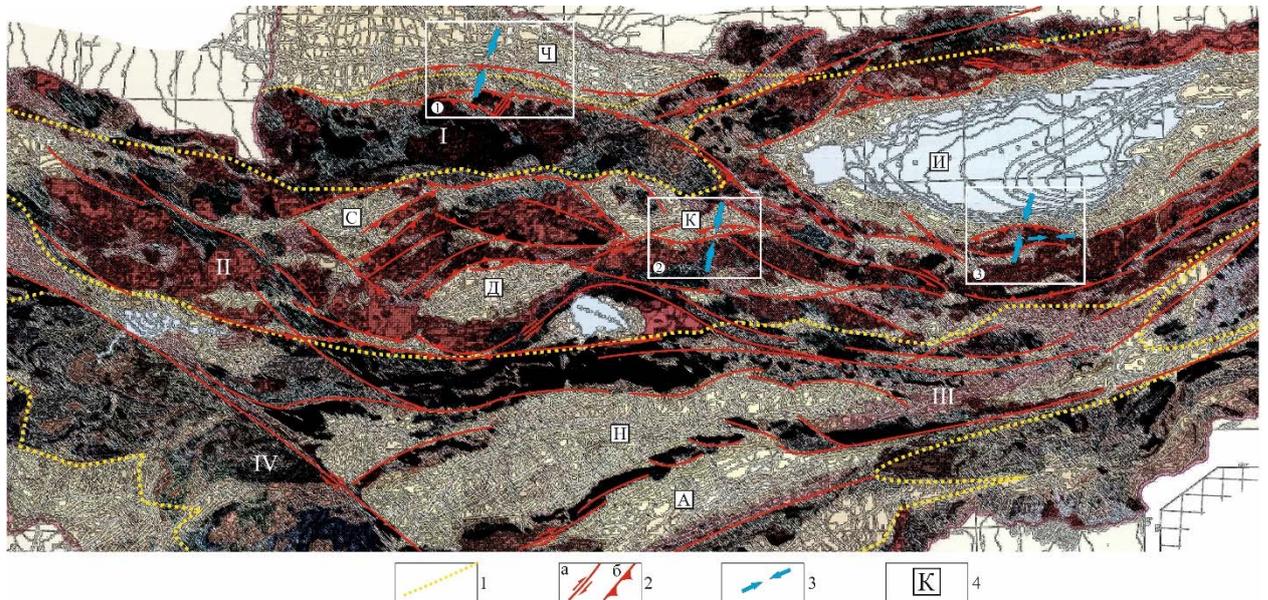


Рис. 2. Структурно-кинематическая схема дислокационных зон орогенного этапа Северного Тянь-Шаня. Стилизация на основе Геологической карты Кыргызской республики масштаба 1:500000. 2008 г. Главные редакторы: Б.Т. Турсунгазиев, О. В. Петров) с учетом опубликованных данных [Абдрахматов К.Е, 2013; Макуаров В.И., 1977; Морозов и др., 2014; Ребецкий Ю.Л., Кузиков С.И., 2016; Glorie S. and all, 2015; Thompson S.C. and all, 2002]

1 – Стили морфо-структурного рисунка: I – петельчато-блоковый; II – линзовидно-линейный, III – линзовидно-ячеистый; IV – петельчатый; 2 – основные разломы: сдвиги (а), надвиги (б); 3 – положение региональной оси сжатия; 4 – впадины: А – Атбашинская, Д – Джумгольская, И – Иссыкульская, Н – Нарынская, С – Сусамырская, Ч – Чуйская. Белыми квадратами показаны участки: 1 – южночуйский; 2 – южночочкорский; 3 – иссыкульский

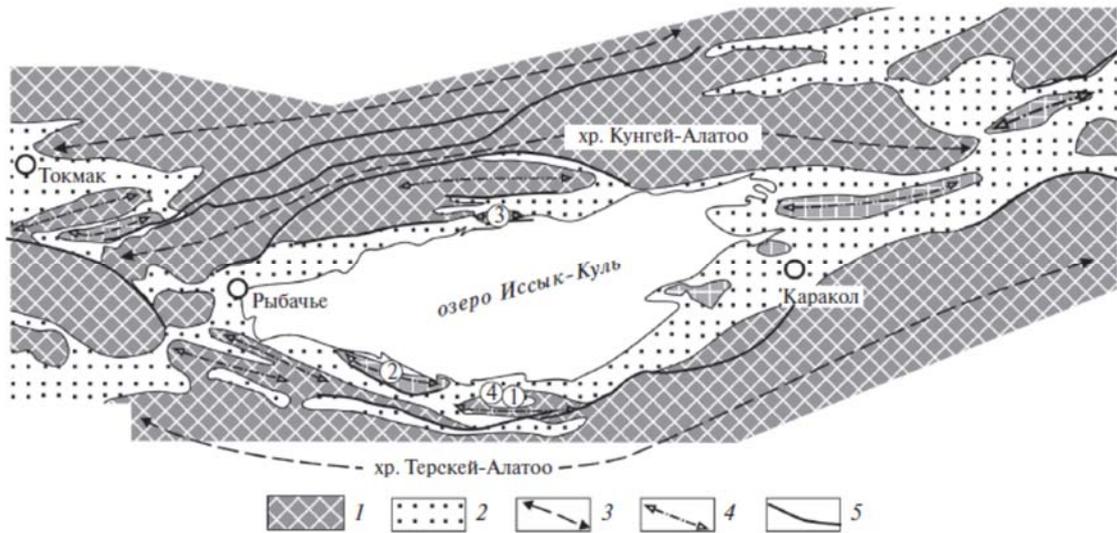


Рис. 3. Положение Исык-Кульской впадины в современной структуре Северного Тянь-Шаня. 1 – поднятия палеозойского фундамента (мегаантиклинали); 2 – впадины, выполненные мезозойскими и кайнозойскими отложениями; 3 – оси мегаантиклиналей; 4 – оси второстепенных антиклиналей; 5 – главные разломы. Цифры в кружках – объекты исследований: 1 – Чонкурчак; 2 – Кызыл-Чоку, 3 – Пришиб, 4 – Кызыл-Булак.

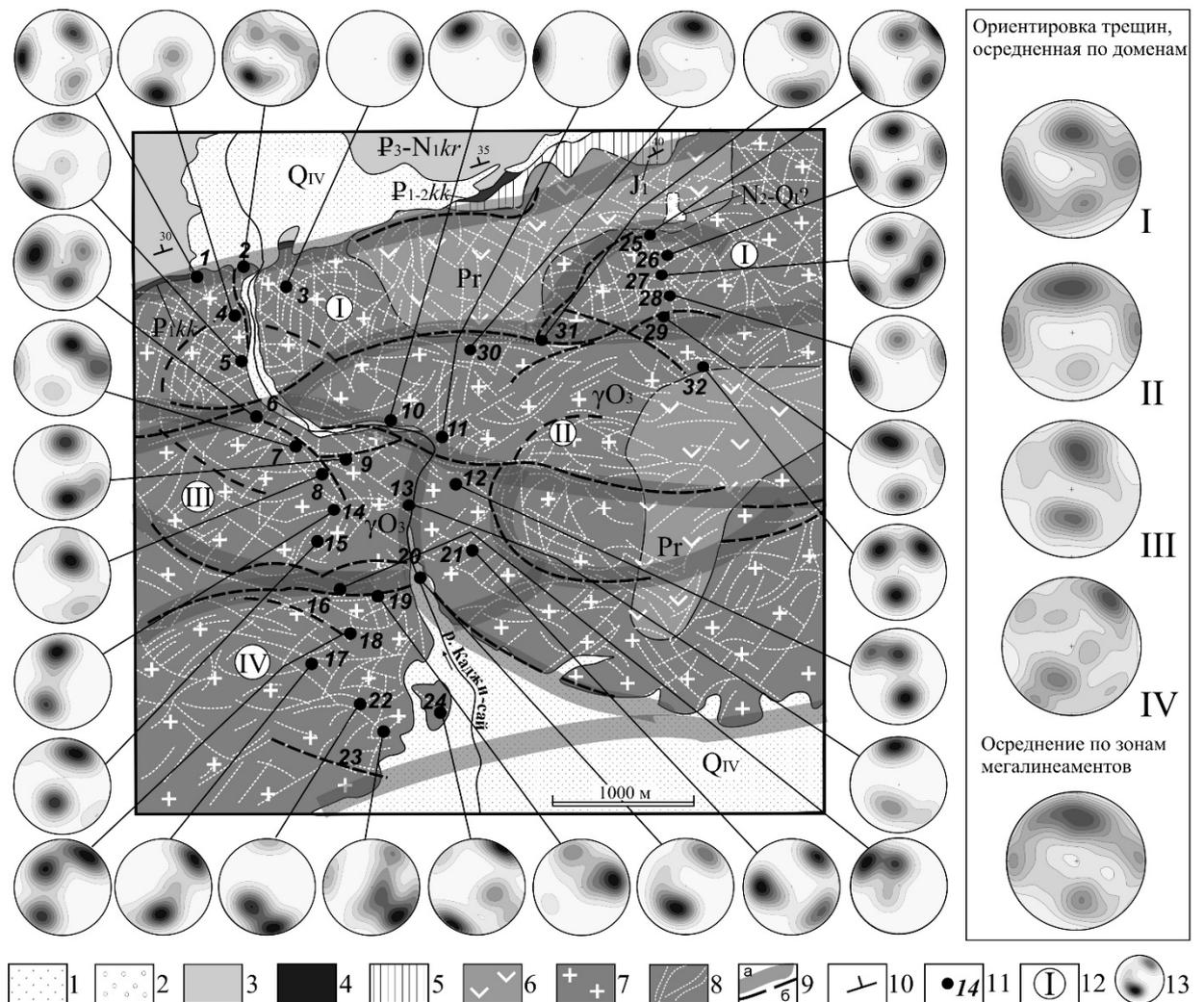


Рис. 4. Структуры дезинтеграции мега- и макроуровней в гранитном массиве Чонкурчак. 1 – современные коллювий и пролювий; 2 – шарпылдакская свита; 3 – киргизская серия; 4 – коктурпакская серия; 5 – нижняя юра; 6 – протерозой; 7 – граниты верхнего ордовика; 8 – трещины и разломы (по данным дешифрирования космоснимков); 9 – деструктивные зоны в фундаменте: а – линейменты мегауровня, б – разломы макроуровня; 10 – элементы залегания; 11 – точки статистических замеров трещиноватости; 12 – номера доменов в гранитах; 13 – стереограммы плотностей полюсов трещин (проекция Шмидта, нижняя полусфера)

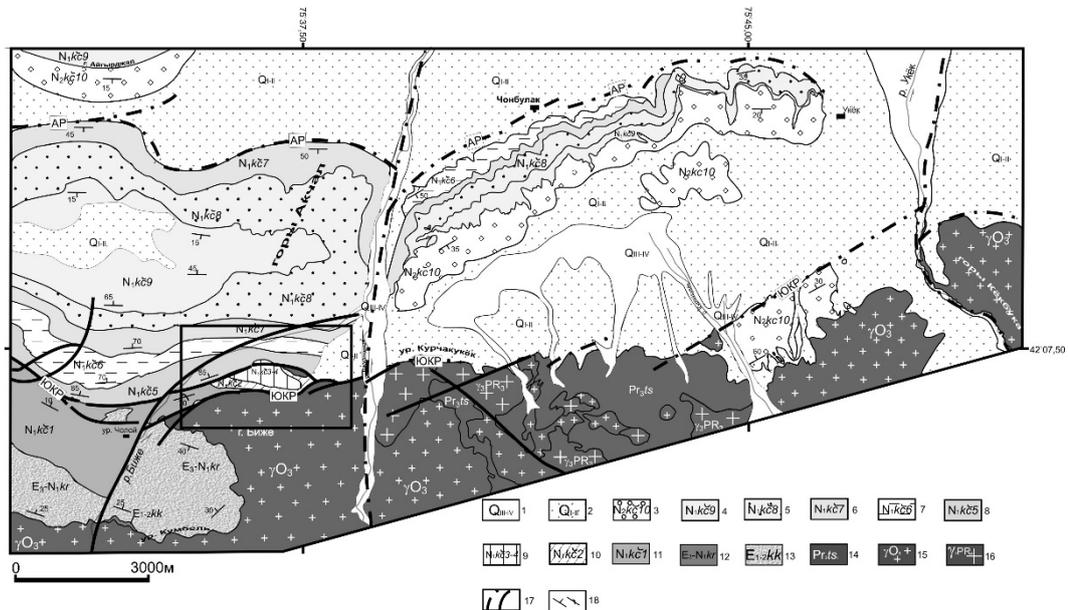


Рис. 5. Геологическая схема южного борта Кочкорской впадины (составлена по материалам полевых работ с учетом данных [Помазков и др., 1958]). 1 – аллювиальные голоценовые отложения; 2 – плейстоценовые отложения; 3-11 – Плиоценовые отложения кочкорской серии: 3 – валунно-галечная 10-ая пачка; 4 – песчано-галечная 9-ая пачка; 5 – слабо полосчатая песчаная 8-ая пачка; 6 – песчано-глинистая 7-ая пачка; 7 – полосчатая глинисто – песчаная с редкими мергелями (пачка 6); 8 – глинисто-песчанистая пачка, соленосная 5-ая пачка; 9 – глинистая гипсоносная пачка (4) с мергелистыми прослоями (3); 10 – светло-кирпичная песчано-дресвяная 2-ая пачка; 11 – мергелисто-глинистая пачка 1; 12 – олигоцен-миоценовые отложения киргизской серии; 13 – палеоцен - эоценовые отложения коктурпакской серии; 14 – верхнепротерозойские нерасчлененные комплексы талдысуйской свиты; 15 – позднеордовикские крупнокристаллические граниты; 16 – протерозойские гранитоиды; 17 – разломы: ЮКР-Южно-Кочкорский разлом, АР – Акчопский разлом; 18 – элементы залегания.

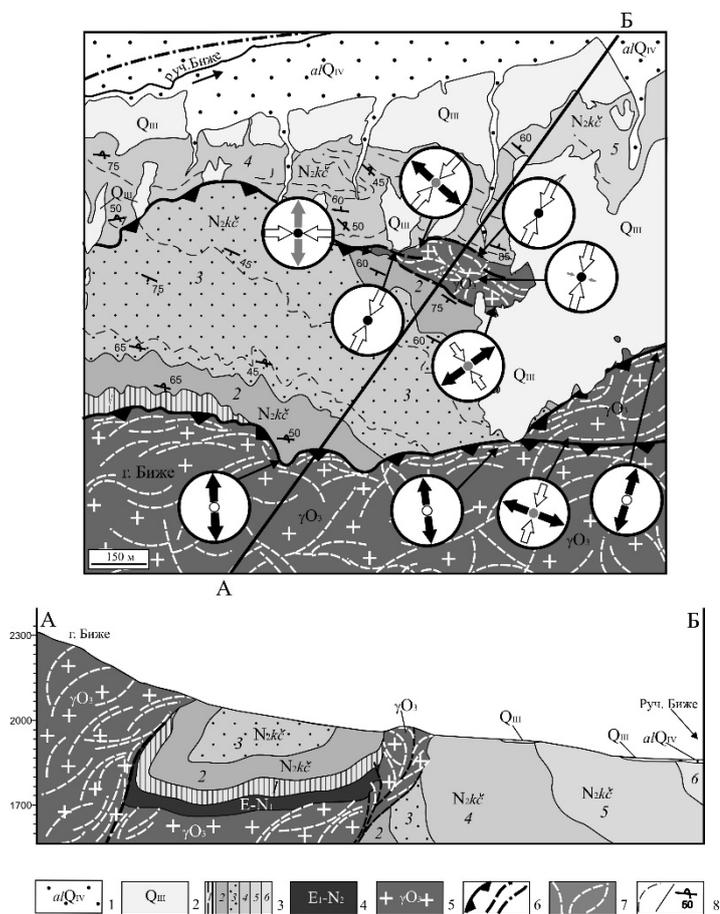


Рис. 6. Фрагмент геологической карты и разрез южного борта Кочкорской впадины к западу от долины р. Джуанарык. 1 – аллювиальные голоценовые отложения (QIV); 2 – делювиальные позднеплейстоценовые отложения (QIII); 3 – валунно-галечные среднеплейстоценовые отложения (QII); 4 – плиоценовые отложения кочкорской свиты (N2kc), нумерация пачек идет от подошвы к кровле; 5 – нерасчлененные красноцветные отложения палеоген-раннемиоценовые (P-N1); 6 – позднеордовикские граниты ($\square O_3$); 7 – разломы: взбросы (а), предполагаемые (б), протрузивный контакт (в); 8 – система трещиноватости; 9 – горизонты и элементы залегания. На диаграммах – реконструкции поля напряжений на локальных участках (белые стрелки – ось сжатия, черные – ось растяжения, серые – промежуточная)

Построение геоэлектрических разрезов ключевых участков Кочкорской, Иссык-Кульской впадин и дислокационных зон Северного Тянь-Шаня (территория Бишкекского геодинамического полигона).

Расположение профилей МТЗ выполненных при изучении глубинного строения центрального сегмента внутриконтинентального Тянь-Шанского орогена с целью построения геоэлектрических разрезов ключевых участков представлено на рис. 7.

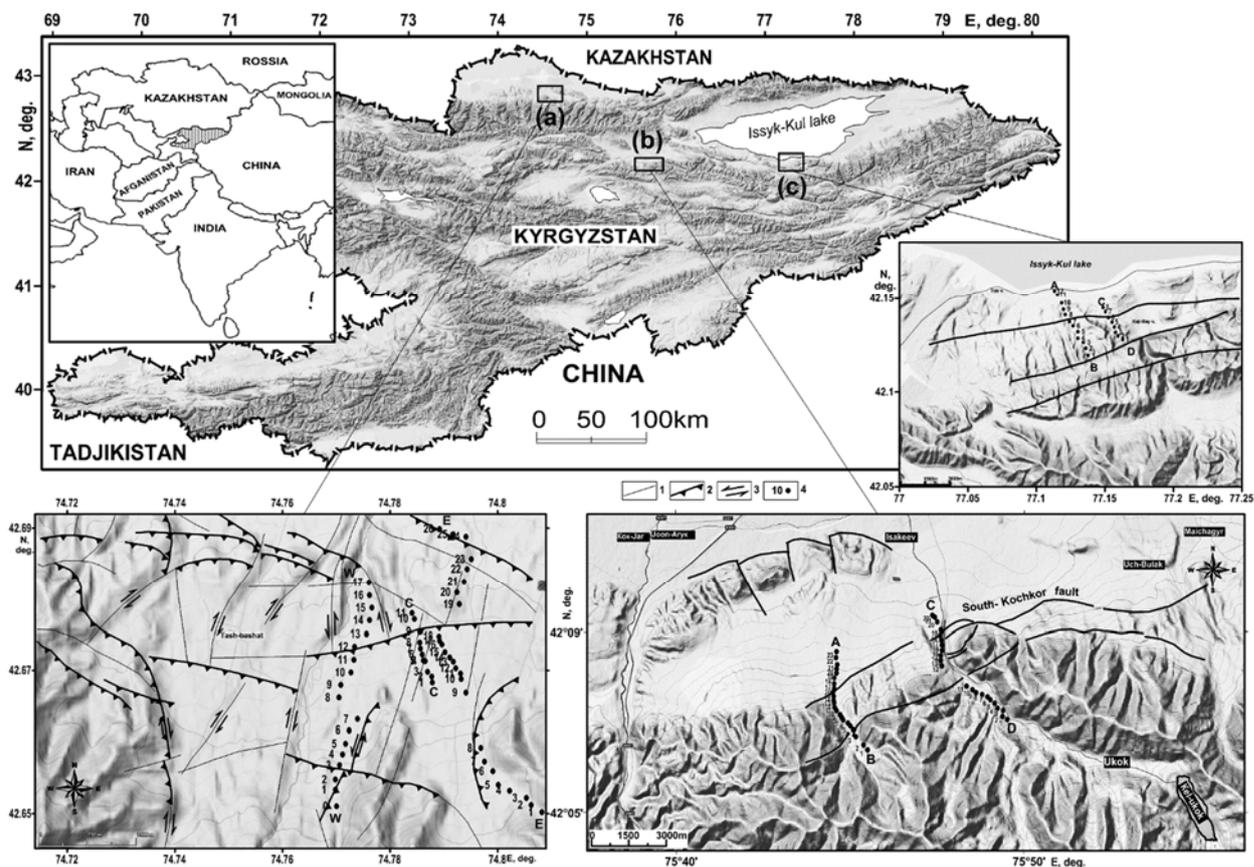


Рис. 7. Расположение профилей и участков работ МТЗ выполненных при изучении глубинного строения центрального сегмента внутриконтинентального Тянь-Шанского орогена: (а)- территория Бишкекского геодинамического полигона - миниполигон Кентор, (б)- южный борт Кочкорской впадины, (с)- южный борт Иссык-Кульской впадины.

Аппаратура и методика измерений

Станции Феникс МТУ-5 характеризуются следующими основными особенностями: 5-ти канальная запись МТ поля в интервале частот 400 Гц – 0.0001 Гц; одновременная регистрация во всем частотном диапазоне; отсутствие аналоговых фильтров в измерительных каналах; 24 разрядный АЦП; синхронизация GPS; малые габариты (230x225x110 мм) и автономность. Для записи МТ поля в интервале частот до 10000 Гц (т. н. аудио диапазон) использовалась станция МТУ-5А. При производстве зондирований обязательной является запись вертикальной компоненты магнитного поля, поскольку при расчёте 2D-моделей в НС РАН магнитовариационные параметры (типпер) всегда входят в инвертируемый ансамбль данных. Длительность записей в пунктах зондирований на профилях составляла около 18 часов. Стандартный диапазон регистрируемых периодов вариаций МТ-поля - от 0.0025 с до 2000 с. Применяемая для зондирований «крестовая»

измерительная установка состоит из двух взаимно перпендикулярных измерительных линий (диполей) M_1N_1 и M_2N_2 , являющихся датчиками электрического поля E_x и E_y . Длина измерительных линий в условиях горного рельефа Тянь-Шаня составляет от 50 до 100 м. Заземление электрических диполей (Рис. 8, 9) осуществлялось с помощью неполяризующихся электродов, разработанных и созданных в Научной станции РАН в г. Бишкеке. Магнитное поле измеряется с помощью трех индукционных датчиков. Датчики магнитного поля H_x и H_y и H_z расположены относительно друг друга ортогонально.

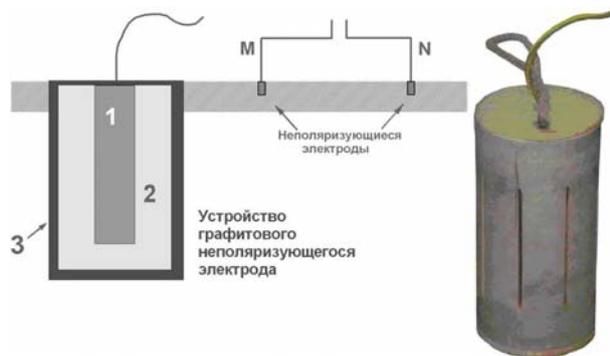


Рис. 8. Измерение горизонтальных компонент электрического поля: 1 – угольный сердечник; 2 – марганцево-угольная крошка; 3 – корпус

Ориентация измерительной установки проводилась по азимутам 0° (север) и 90° (восток), что в системе координат станции Феникс соответствует X и Y . Пример конфигурации измерительной установки показан на рис. 9.

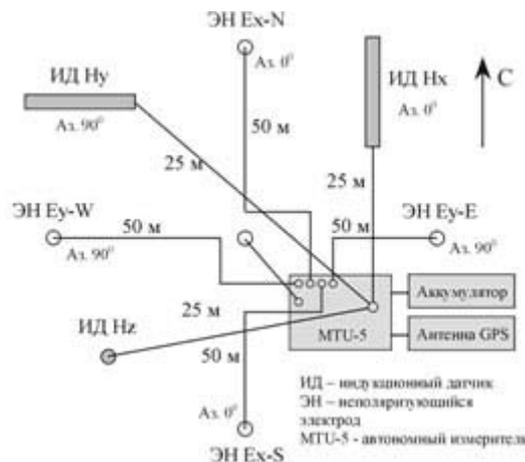


Рис. 9. Измерительная установка станции Phoenix -MTU-5D для регистрации компонент МТ-поля

Обработка и инверсия магнитотеллурических данных

Обработка МТЗ заключается в спектральном анализе вариаций МТ поля, определении частотных характеристик компонент тензоров импеданса, адмитанса и матрицы Визе – Паркинсона с помощью программного пакета SSMT2000. Она может производиться в режимах “local” и (или) “remote reference”, на основе современных алгоритмов спектрального анализа и процедур робастной обработки. Дополнительно для подавления промышленных помех и сглаживания передаточных функций использовалась программа CORRECTOR, разработанная сотрудниками геофизической компании “Северо-Запад”, г. Москва.

Дисперсионные соотношения. Необходимо отметить, что даже на магнитотеллурических профилях, расположенных вдалеке от промышленных центров, где

уровень промышленных помех в пунктах зондирования низок, качество временных рядов компонент МТ-поля определяется присутствием близких гроз, что в горах, является очень частым явлением, а также ветровыми и микросейсмическими помехами. Из-за аддитивного присутствия указанных помех в регистрируемом МТ-сигнале частотные зависимости компонент тензора импеданса, получаемые при обработке полевых экспериментальных данных, могут содержать значения параметров резко отличающиеся по величине от значений на соседних частотах (так называемый «разброс значений»). Это явление может существенно осложнить последующий анализ и интерпретацию магнитотеллурических данных. Для просмотра и редактирования частотных зависимостей компонент тензора импеданса нами использовался программный комплекс МТ-Corrector. Он разработан в ООО «Северо-Запад» (Москва) и обладает развитым интерфейсом и большим числом специальных возможностей и функций, таких как сглаживание кривых МТЗ с помощью аппроксимационных сплайнов и робастное оценивание результатов обработки данных. Используемая в работе методика обработки полевых данных МТЗ опирается на, выполняемое в первую очередь, робастное оценивание фаз импеданса в автоматическом (AutoEdit), и затем в «ручном» режимах (MT Editor) программного комплекса МТ-Corrector. В большинстве случаев с помощью AutoEdit не достигается желаемая гладкость и отсутствие выбросов на кривых фазы импеданса. Выбор наименее искажённых решений переопределённой системы уравнений (из двадцати по умолчанию установленных в МТ-Corrector) производится оператором исходя из уменьшения амплитуды выбросов и достижения гладкости всех четырёх фазовых кривых. При этом считается маловероятным, что влияние разного рода помех на МТ-поле на фиксированной частоте может привести к плавному изменению всех компонент тензора импеданса *одновременно*. Отбор несмещённых решений этим способом является трудоёмким, но позволяет удалить из экспериментальных частотных зависимостей значения (решения системы) комплексных импедансов, искажённые помехами. При этом специальных операций по выбору несмещённых оценок для модулей импедансов не производится т.к. выбранные по фазам решения, как правило, обеспечивают гладкость кривых модулей импедансов. Другой замечательной возможностью программного комплекса МТ-Corrector является проверка выполнения дисперсионного соотношения второго рода, связывающего кажущиеся сопротивление и фазы импеданса. Для частотных зависимостей модулей импедансов в программе МТ-Corrector вычисляются соответствующие им фазовые кривые. Далее, по степени отклонения сплайна наблюдаемой фазовой кривой от расчётной можно судить о выполнении дисперсионных соотношений. С помощью имеющихся в программе МТ-Corrector функций возможно деформирование импедансных кривых (в пределах точности измерений), с последующим вычислением фазовых кривых и их сравнением с наблюдаемыми фазовыми кривыми. Для данных МТ-зондирования по рассматриваемым в настоящем отчёте профилям проверка выполнения дисперсионного соотношения второго рода показала, что для всех пунктов МТЗ оно выполняется в значительной части частотного диапазона наблюдений при минимальной коррекции кажущихся сопротивлений (импедансов). На рис. 10 иллюстрируются результаты применения этого метода. Большим «плюсом» использования этого подхода при обработке является уменьшение «внутренних противоречий» в совокупности инвертируемых экспериментальных данных, что напрямую влияет на величину итоговой погрешности RMS.

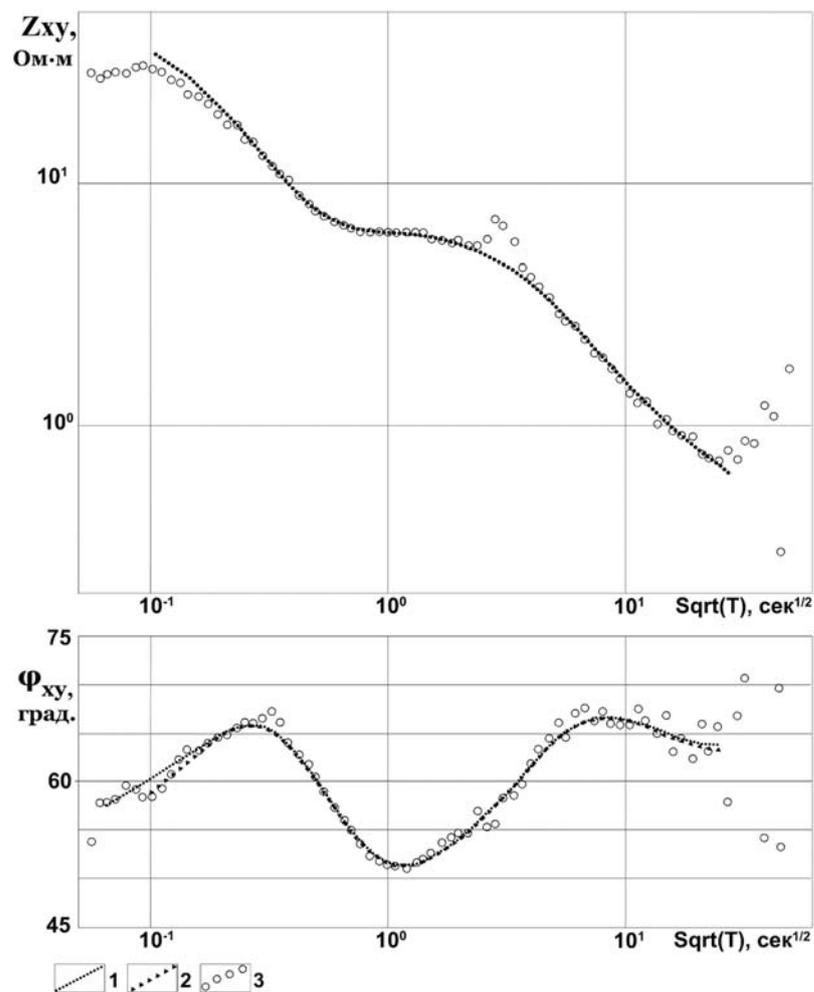


Рис. 10. Проверка выполнения дисперсионного соотношения второго рода, связывающего амплитудные и фазовые кривые импеданса для пункта №21 профиля А-В (в качестве примера).

1 – аппроксимационные сплайны данных после проведения описанных в тексте процедур
 2 – синтезированная по сплайну кривой импеданса кривая фазы импеданса, 3 – исходные экспериментальные данные.

Этапом, предшествующим 2D-инверсии МТ-данных, является качественная интерпретация, включающая в себя следующие процедуры: анализ МТ-данных – определение пространственных характеристик тензора импеданса и матрицы Визе – Паркинсона, оценка уровня геоэлектрического шума (приповерхностных неоднородностей), выделение структур по электропроводности и глубине, определение их размерности и простирания.

В настоящем отчёте для профилей МТЗ с целью оценки размерности среды представлены псевдоразрезы параметров неоднородности N и асимметрии $SkewZ$ и $SkewT$.

Параметр неоднородности N , характеризующий степень горизонтальной неоднородности среды и равный нулю для горизонтально-однородной среды, определяется по формуле:

$$N = \sqrt{1 - \frac{4(Z_{xx}Z_{yy} - Z_{xy}Z_{yx})}{(Z_{xy} - Z_{yx})^2}}$$

На практике величины параметра неоднородности N равные 0,1-0,3 считаются еще малыми.

Амплитудные параметры асимметрии импеданса и матрицы Визе (типпера) определяющиеся по формулам:

$$SkewZ = \frac{|Z_{xx} + Z_{yy}|}{|Z_{xy} - Z_{yx}|} \quad SkewT = \frac{Re W_{zx} Im W_{zy} - Re W_{zy} Im W_{zx}}{Re W_{zx} Im W_{zx} - Re W_{zy} Im W_{zy}}$$

являются мерой трехмерности среды. В случае, если среда двумерна, то $Skew$ стремится к 0.

На практике величины параметра асимметрии $Skew Z$ равные 0,2-0,3 считаются еще малыми и указывают на двумерность геоэлектрического разреза. В случае, если большая часть площади псевдоразрезов $Skew Z$ представлена значениями $SkewZ$ менее 0,2, можно считать геоэлектрическую структуру рассматриваемых профилей квазидвумерной.

Оценка $SkewT$ указывает на 3D эффекты при заметно меньшем пороге (порядка 0.1).

Комплексная матрица Визе-Паркинсона $|W|$, связывающая вертикальную составляющую магнитного поля с его горизонтальными составляющими,

$$H_z = W_{zx}H_x + W_{zy}H_y ,$$

предоставляет наиболее надежную информацию о глубинных проводящих структурах, так как с увеличением периода теллурические токи индуцируются в более глубоких слоях Земли и их магнитное поле освобождается от влияния приповерхностных неоднородностей за счет уменьшения их вклада в суммарное магнитное поле. Обычно вещественные индукционные стрелки (ReW) изображаются в виде векторов Визе. По поведению векторов Визе можно достоверно судить о степени двумерности разреза, простирации токовых систем и качестве исходных данных.

Часто для оценки размерности среды используется параметр простирации электропроводящих структур «Strike», рассчитываемый при обработке экспериментальных магнитотеллурических данных и содержащийся в *.ed1 файлах. На роза-диаграммах обычно приводятся азимуты простирации, вычисленные для некоторых интервалов периодов и некоторых групп пунктов зондирования, чтобы выделить разномасштабные структуры геоэлектрического разреза. Если в некотором частотном диапазоне азимут простирации электропроводящих структур «Strike» и реальные вектора Визе ортогональны, то это является дополнительным подтверждением двумерности рассматриваемого участка.

2D-инверсия МТ-данных с помощью программы 2D инверсии Rodi–Mackie

В программе реализован алгоритм, использующий метод Тихонова для получения регуляризованного решения обратной задачи с помощью метода нелинейных сопряженных градиентов (NLCG). Алгоритм NLCG минимизирует целевую функцию, которая представляет собой сумму нормализованных невязок данных и сглаженности модели. Компромисс между невязками данных и сглаженностью модели контролируется параметром регуляризации τ . Пользователь должен рассчитать несколько вариантов инверсий, используя различные значения τ , и затем определить то значение τ , которое даст самую сглаженную модель и малые невязки. С реальными полевыми данными зачастую не удаётся достигнуть желаемых невязок. В этом случае необходимо выбрать такое значение τ , которое дает небольшие значения RMS и наиболее сглаженную модель.

Настройки инверсии. Выбор размеров строк и столбцов сетки модели для инвертируемого ансамбля МТ-МВ-данных в каждом случае производится с учетом расположения зондирований на профиле. Размеры ячеек по горизонтали зависят от шага зондирований, пункт зондирований располагается в центре ячейки, ширина соседних

ячеек увеличивается с шагом около 1.2-1.5, между пунктами наблюдений обычно размещается 3-5 ячеек (столбцов). Мощность слоёв (по строкам) увеличивается с глубиной с шагом около 1.2-1.5. Для локальных профилей размеры сетки составляют около 150 строк и 200 столбцов.

-В инвертируемые ансамбли данных по локальным профилям, рассматриваемым в настоящем отчете, входят ТМ и ТЕ мода и типпер, причём модуль и фаза импеданса по требованиям программы должны присутствовать вместе. Таким образом, проверка амплитудных и фазовых кривых импеданса на выполнение дисперсионных соотношений и соответствующая отбраковка или коррекция, дополнительно обеспечивает внутреннюю непротиворечивость ансамбля инвертируемых данных.

- Диапазон периодов (количество декад), устанавливаемых для инверсии данных по локальным профилям, был ограничен максимальным значением $T=100$ сек, с целью выделения интервала глубин разреза, в котором сохраняется высокая степень двумерности данных, хотя экспериментальные данные содержат значительно более длинные периоды зондирования (до 1600-2000 с).

-Заданием максимального числа итераций (MAXIT) достигается баланс между снижением погрешности RMS, гладкостью модели и временем счёта. Хотя желаемое значение RMS может быть достигнуто за 20 итераций или меньше, расчет наиболее гладкой модели требует длительной работы инверсии, до стабилизации целевой функции. Поэтому устанавливалось значение MAXIT=200 чтобы не произошло остановки инверсии до получения сходимости модели.

Южный борт Кочкорской впадины

МТ-зондирования на южном борту Кочкорской впадины, (хребет Терской Ала-тоо, участок Южно-Кочкорского разлома) были выполнены вдоль р. Курчак-Укок - профиль А-В, и вдоль р. Укок -профиль С- D (рис. 7b). В настоящем отчёте (Рис. 11) для профилей А - В и С – D с целью оценки размерности среды представлены псевдоразрезы: длин реальных векторов Визе в проекции на линию профиля (-20°); параметров неоднородности импеданса и типпера Skew Z и Skew T. Вектора Визе на периодах в интервале 50 - 2000 с на обоих профилях имеют положительные значения 0.12-0.18 что соответствует региональной модели корового проводящего слоя с возрастающей к югу проводимостью. С уменьшением периода зондирования от 20-50 с до 0.1 с повсеместно в псевдоразрезах обоих профилей наблюдаются отрицательные значения векторов Визе, указывающие на наличие избыточных токов севернее пунктов наблюдения. В верхней части разреза в диапазоне частот 10 - 400 Гц на северной половине профиля А-В вектора Визе имеют северную ориентацию, а на южной половине профиля южную. Это наблюдение указывает на наличие в центре профиля на небольших глубинах проводящих зон (возможно распределенных по верхней части разреза). На профиле С – D деление верхней части разреза наблюдается менее выражено.

Значения параметров неоднородности по профилям А - В и С – D - Skew Z и Skew T, малость которых указывает на двумерность разрезов, подтверждают правомочность использования двумерной инверсии для рассматриваемых профилей. Значительная часть площади псевдоразрезов Skew Z на обоих профилях представлена значениями Skew Z менее 0.2, а для Skew T – менее 0.4. Как отмечалось в работе [Бердичевский и др., 2010], Skew T определяется менее устойчиво, что видно по изрезанности псевдоразрезов, (Рис. 11).

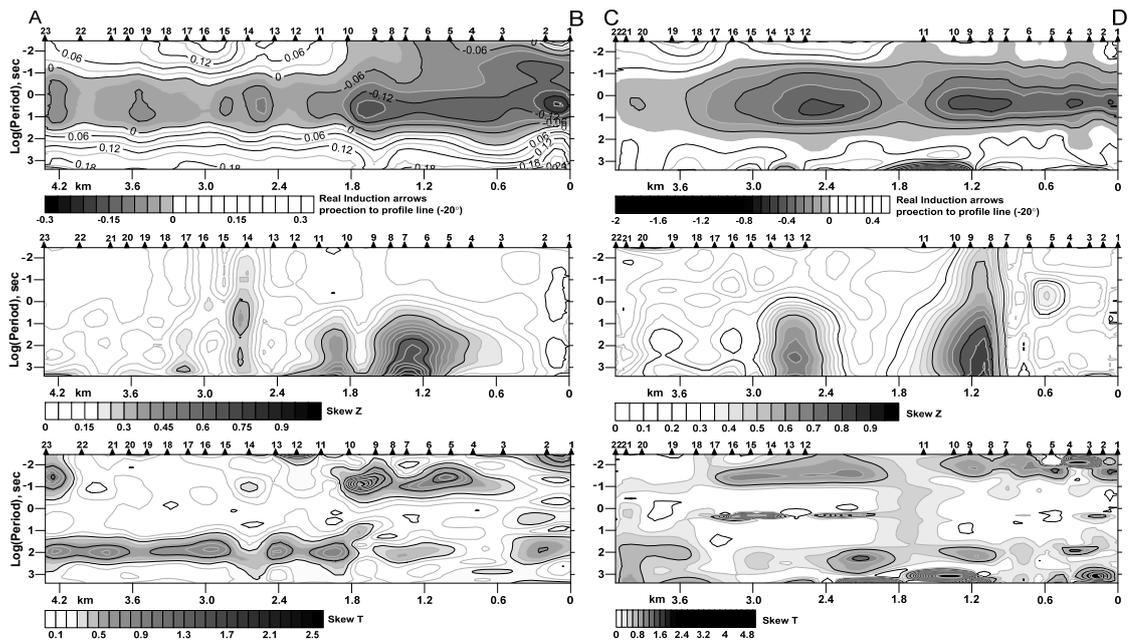


Рис. 11. Псевдоразрезы вдоль линии профилей А - В и С - D (рис. 7): верхняя панель - проекции реальных векторов Визе на линию профиля (-20°); средняя панель – параметр неоднородности импеданса Skew Z; нижняя панель - параметр неоднородности типпера Skew T.

На рис. 12 представлены карты реальных индукционных векторов для периодов $T=1, 10, 100, 1000$ с на карте рельефа южной части Кочкорской впадины. На периодах $T=1$ и 10 с наблюдается высокая коллинеарность векторов Визе, при их длине около 0.4, что указывает на хорошее качество их определения и устойчивую двумерность разреза для этих периодов. На периоде $T=1000$ с реальные вектора Визе на обоих профилях имеют положительные значения около 0.2 что соответствует характеристикам корового проводника с возрастающей к югу проводимостью. На периоде $T=100$ с средняя длина реальных векторов Визе составляет меньше 0.1, вследствие чего их ориентация хаотична. Вероятно, что период зондирования $T=100$ с недостаточно велик для отображения региональных особенностей корового проводника, а малоглубинные структуры, такие как осадочный чехол Кочкорской впадины, уже не могут внести весомый вклад в кажущееся электросопротивление рассматриваемого объема зондирования.

Коллинеарность (в пределах точности измерения) наблюдаемых индукционных векторов ReW , выдержанность по ориентации и однонаправленность по нескольким профилям на рассматриваемой территории в диапазоне периодов до 20-50 с являются дополнительными свидетельствами региональной двумерности коровой проводимости.

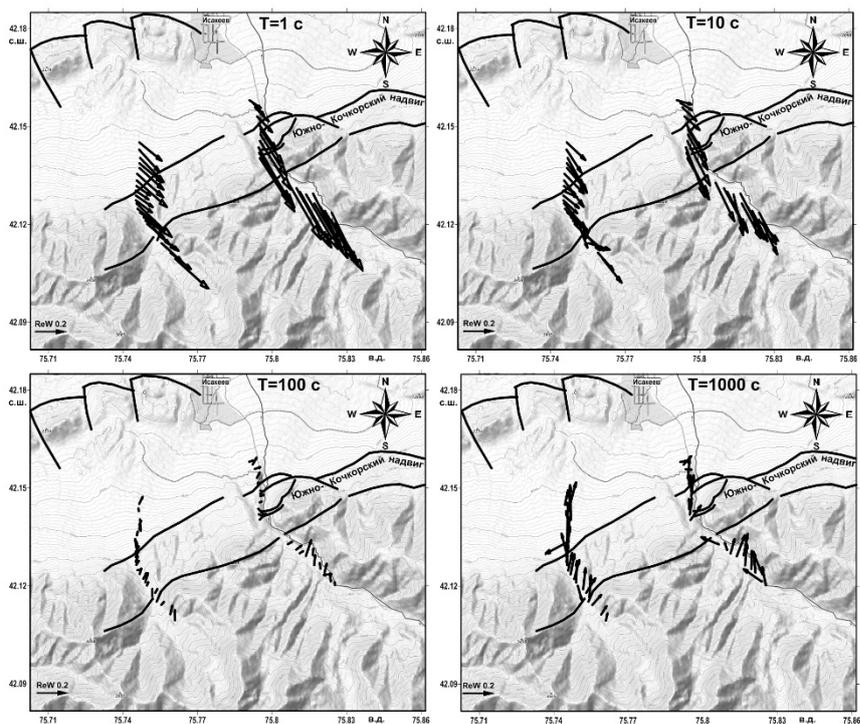


Рис. 12. Карты реальных векторов Визе для участка Южно-Кочкорского надвига (общее расположение см. рисунок 7b) для периодов $T=1, 10, 100, 1000$ с. Чёрными линиями показаны разломные структуры.

На рис. 13 показаны роза-диаграммы простирания электрических структур (Strike) по всем пунктам профиля А-В для интервала периодов 1-10 с, и также по профилю С-Д для периодов 10-100 с. Обращает на себя внимание достаточно выдержанная ортогональность между направлениями Strike (рис. 13) и ReW (рис. 12) по рассматриваемым локальным профилям в диапазоне периодов 1-100 с. Таким образом, наблюдаемая ортогональность является дополнительным подтверждением двумерности рассматриваемого участка.

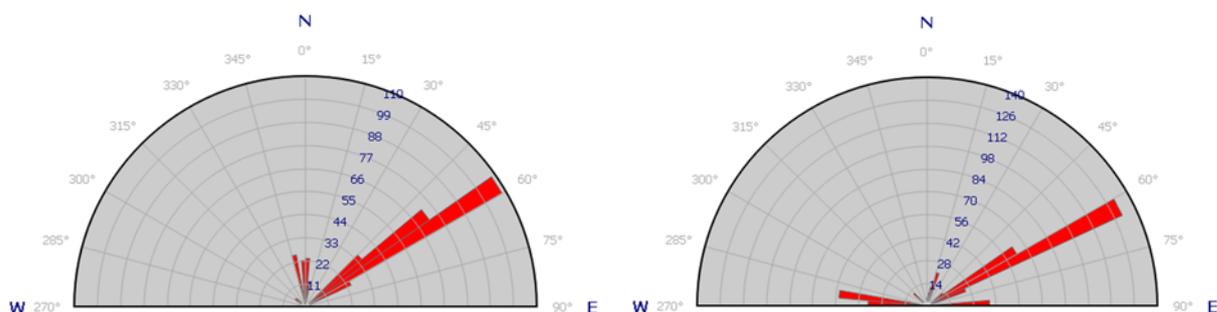


Рис. 13. Роза-диаграммы простирания электрических структур (Strike) по 23 пунктам профиля А-В (р. Курчас-Укок) для интервала периодов 1-10с, слева и по 28 пунктам профиля С-Д (р. Укок) для интервала периодов 10-100с, справа. Положение профилей см. рисунок 1b.

Модели, показанные на рисунках 14 и 15 получены по профилям А - В и С – D после выполнения двухсот итераций инверсии, значения RMS при $\tau = 3$ составили около 1.5.

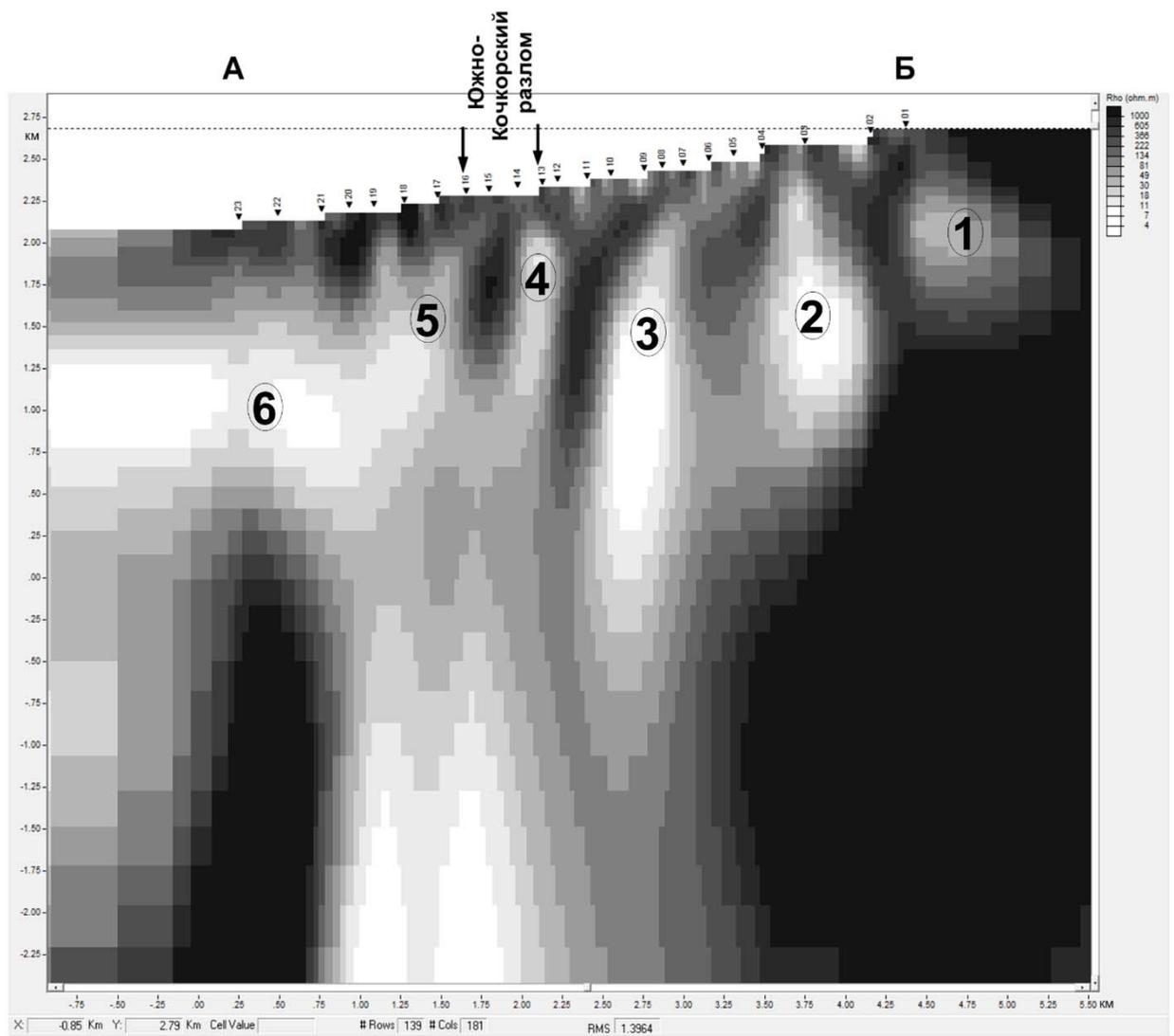


Рис. 14. Двумерная геоэлектрическая модель по профилю А – В через зону Южно-Кочкорского разлома по реке Курчак-Укок (рис. 7b)

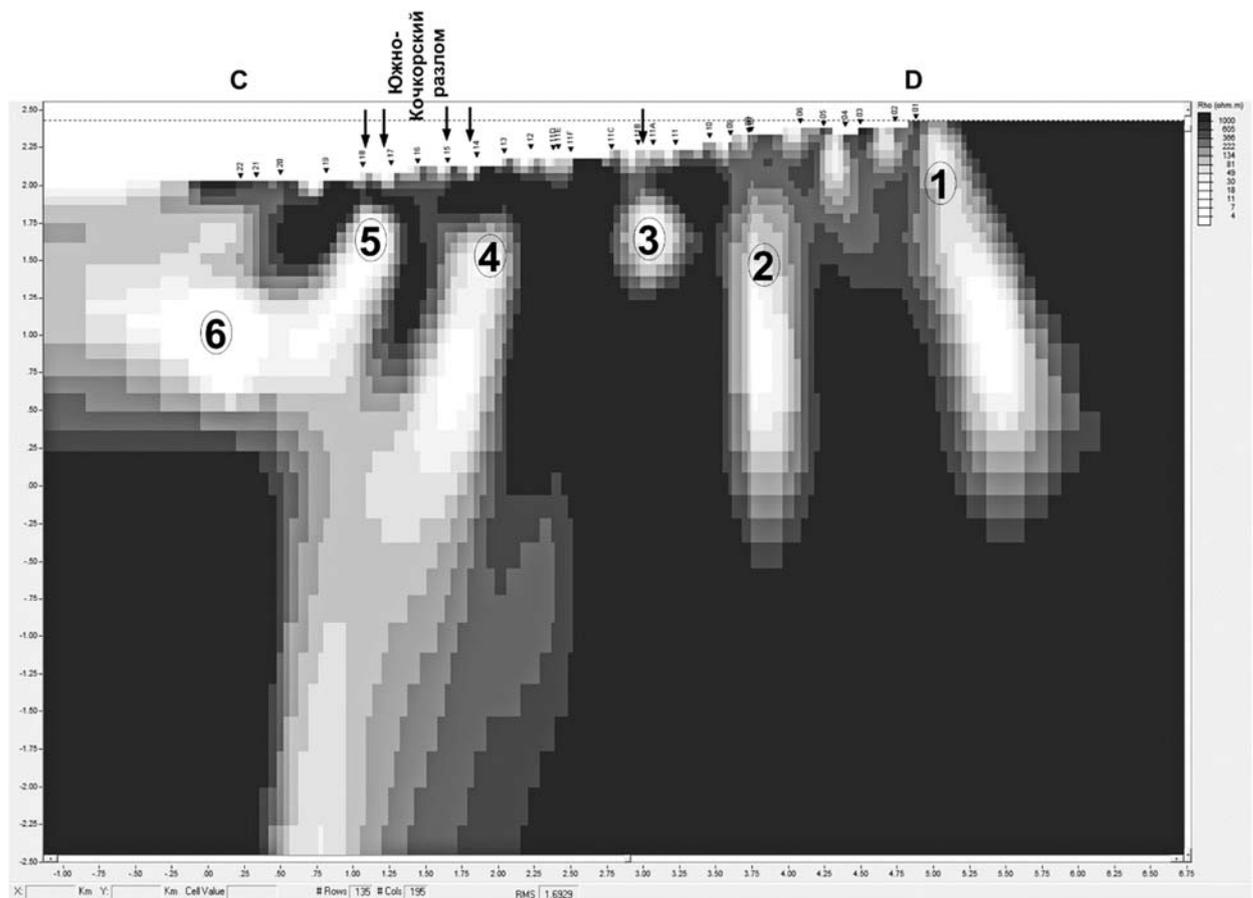


Рис. 15. Двумерная геоэлектрическая модель по профилю С – D через зону Южно-Кочкорского разлома по реке Укок (рис. 7b)

Простирание разломов, наблюдаемое в интервале (около четырёх километров) между профилями А - В и С – D (рис. 7.) в среднем составляет $55-70^\circ$, на такое же простирание избыточных токов для периодов 1-10 с (рис. 12.), указывает ориентация реальных векторов Визе. Эти наблюдения обосновывают высокую степень двумерности рассматриваемого участка и позволяют предположить, что основные электропроводящие структуры являются общими для рассматриваемых моделей. При сопоставлении геоэлектрических моделей по профилям наблюдается определённое сходство электропроводящих структур, обозначенных цифрами 1-6. Различия моделей определяются в основном размерами проводящих тел, таких как например, субвертикальные зоны (1) и (3). Они присутствуют в обоих разрезах, но их размеры отличаются значительно.

Южный борт Иссyk-Кульской впадины (участок Каджи-Сай)

Схема расположения профилей МТЗ на участке Каджи-Сай показана на рис. 7с. Профили А-В и С-Д расположены в Иссyk-Кульской впадине (южный берег озера Иссyk-Куль, отроги хребта Терской Ала-тоо, профиль А-В заложен на р. Чокубулак, профиль С-Д - на р. Кызылбулак). Для построения геоэлектрической модели по профилю А-В, данные широкополосных зондирований, полученных с помощью станции Phoenix - MTU-5 объединенных с данными в аудио-диапазоне (Phoenix - MTU-5A). Этим достигается расширение диапазона периодов регистрации МТ-поля в сторону высоких частот от 400 Гц до 10 000Гц.

С целью оценки размерности геоэлектрических структур для профилей А - В и С – D рассмотрим представленные на Рис. 16 псевдоразрезы: длин реальных векторов Визе в проекции на линию профиля; асимметрии импеданса и типпера $Skew Z$ и $Skew T$ и параметров неоднородности N . Вектора Визе на периодах в интервале 100 - 2000 с на обоих профилях имеют положительные значения до 0.2-0.3 что соответствует модели корового проводящего слоя с возрастающей к югу проводимостью. С уменьшением периода зондирования от 100 с до 0.1 - 0.05 с повсеместно в псевдоразрезах обоих профилей наблюдаются отрицательные значения векторов Визе, указывающие на наличие избыточных токов севернее пунктов наблюдения. В верхней части разреза в диапазоне частот 10 - 1000 Гц в северной и центральной частях профиля А-В вектора Визе имеют северную ориентацию, а на южной оконечности профиля южную. Это указывает на наличие в центре профиля на небольших глубинах проводящих зон. На профиле С – D деление верхней части разреза наблюдается менее выражено. Значительная часть площади псевдоразрезов $Skew Z$ на обоих профилях представлена значениями $Skew Z$ менее 0.2, а для $Skew T$ – менее 0.4. Малость значений параметров неоднородности $Skew Z$ и $Skew T$ по профилям указывает на двумерность разрезов в целом и подтверждает правомочность использования двумерной инверсии. Ограничив частотный диапазон инвертируемых данных можно выделить область модели, характеризующуюся наибольшей степенью двумерности. Так же как для южного борта Кочкорской впадины поведение $Skew T$ менее устойчиво.

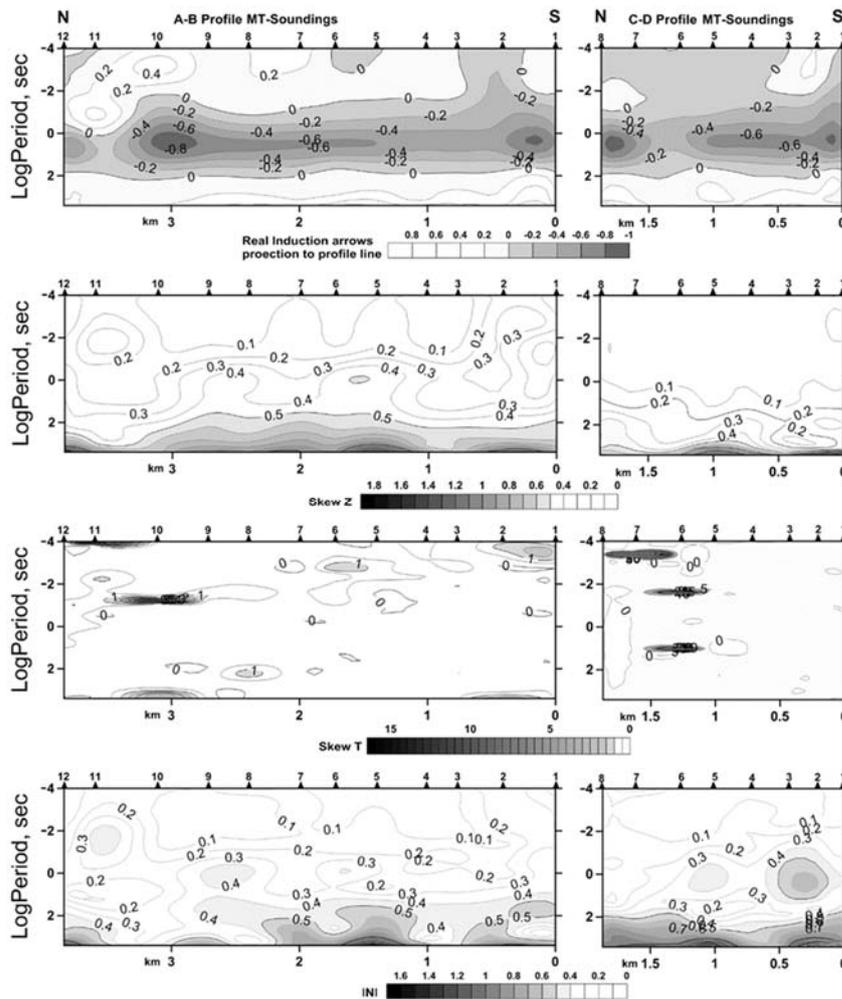


Рис. 16. Псевдоразрезы проекции реальных векторов Визе, параметров асимметрии $Skew Z$, $Skew T$ и неоднородности N вдоль линии профилей А - В и С – D (рис. 7с)

Анализ приведенных на рисунке 17 псевдоразрезов логарифмов кажущихся сопротивлений $LogRo_{xy}$ и $LogRo_{yx}$ и фаз импеданса Fi_{xy} и Fi_{yx} вдоль профилей свидетельствует об отсутствии в экспериментальных данных значительных проявлений эффекта статического смещения. Как для поперечных кривых Ro_{xy} , так и для продольных Ro_{yx} , изолинии псевдоразрезов «лежат» субгоризонтально, (особенно это важно для длинных периодов). Это указывает на малые отличия в значениях сопротивлений между соседними пунктами зондирования и, соответственно на отсутствие статического смещения кривых кажущегося сопротивления. Конфигурация изолиний на псевдоразрезах фаз продольного импеданса Fi_{yx} где по – определению отсутствует эффект статического смещения кривых, очень схожа с картиной изолиний логарифмов продольных кажущихся сопротивлений $LogRo_{yx}$. Сходство псевдоразрезов поперечных сопротивлений и фаз небольшое, но также наблюдается отсутствие эффекта статического смещения. Таким образом, проведение нормализации (коррекции эффекта статического смещения) кривых кажущегося сопротивления по рассматриваемому профилю не требуется.

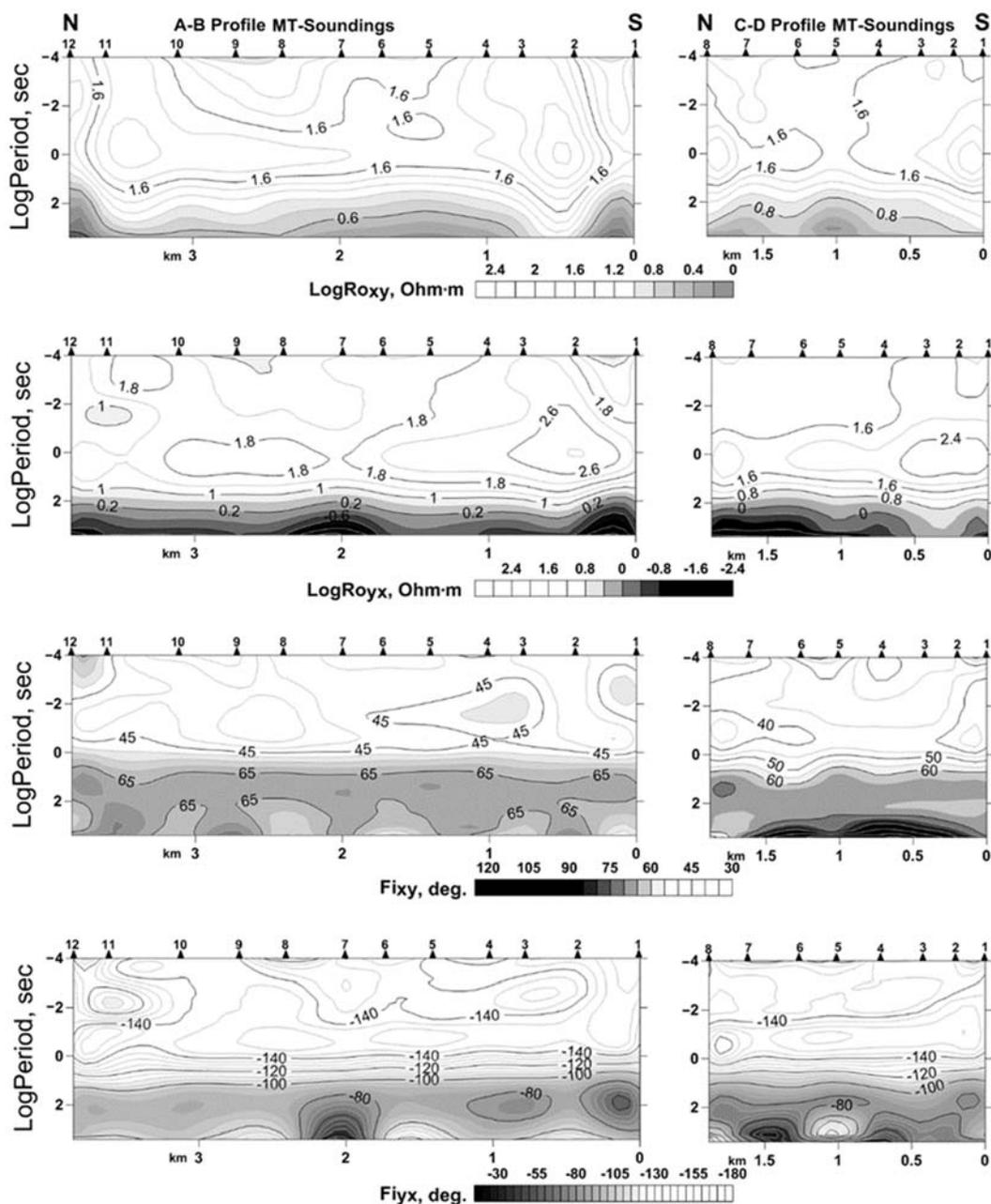


Рис. 17. Псевдоразрезы логарифмов кажущихся сопротивлений LogRoxy и LogRouy и фаз импеданса Fixy Fixx вдоль линии профилей А - В и С - D (рис. 7с)

Карты реальных индукционных векторов для периодов $T=0.01, 0.1, 1, 10, 100, 1000$ с на схеме рельефа южного борта Иссык-Кульской впадины (участок Каджисай) представлены на рис. 18. Для периодов $T=1$ и 10 с наблюдается высокая коллинеарность векторов Визе, при их длине от 0.4 до 0.6 что указывает на хорошее качество их определения и устойчивую двумерность разреза на этих периодах. Фактором, стабилизирующим индукционные стрелки на периодах $T=1$ и 10 с, является обладающая высокой электропроводностью солёная вода оз. Иссык-Куль. На периоде $T=1000$ с реальные вектора Визе на обоих профилях имеют положительные значения около $0.2-0.3$, что соответствует характеристикам регионального корового проводящего слоя с возрастающей к югу проводимостью. На периоде $T=100$ с длина реальных векторов Визе в среднем составляет менее 0.1 , они плохо определяются, и поэтому их ориентация

хаотична. Вероятно, что период зондирования $T=100$ с недостаточно велик для отображения региональных особенностей корового проводника, а малоглубинные структуры, такие как осадочный чехол Иссyk-Кульской впадины и солёная вода озера, не могут внести определяющий вклад в кажущееся электросопротивление рассматриваемого объёма зондирования.

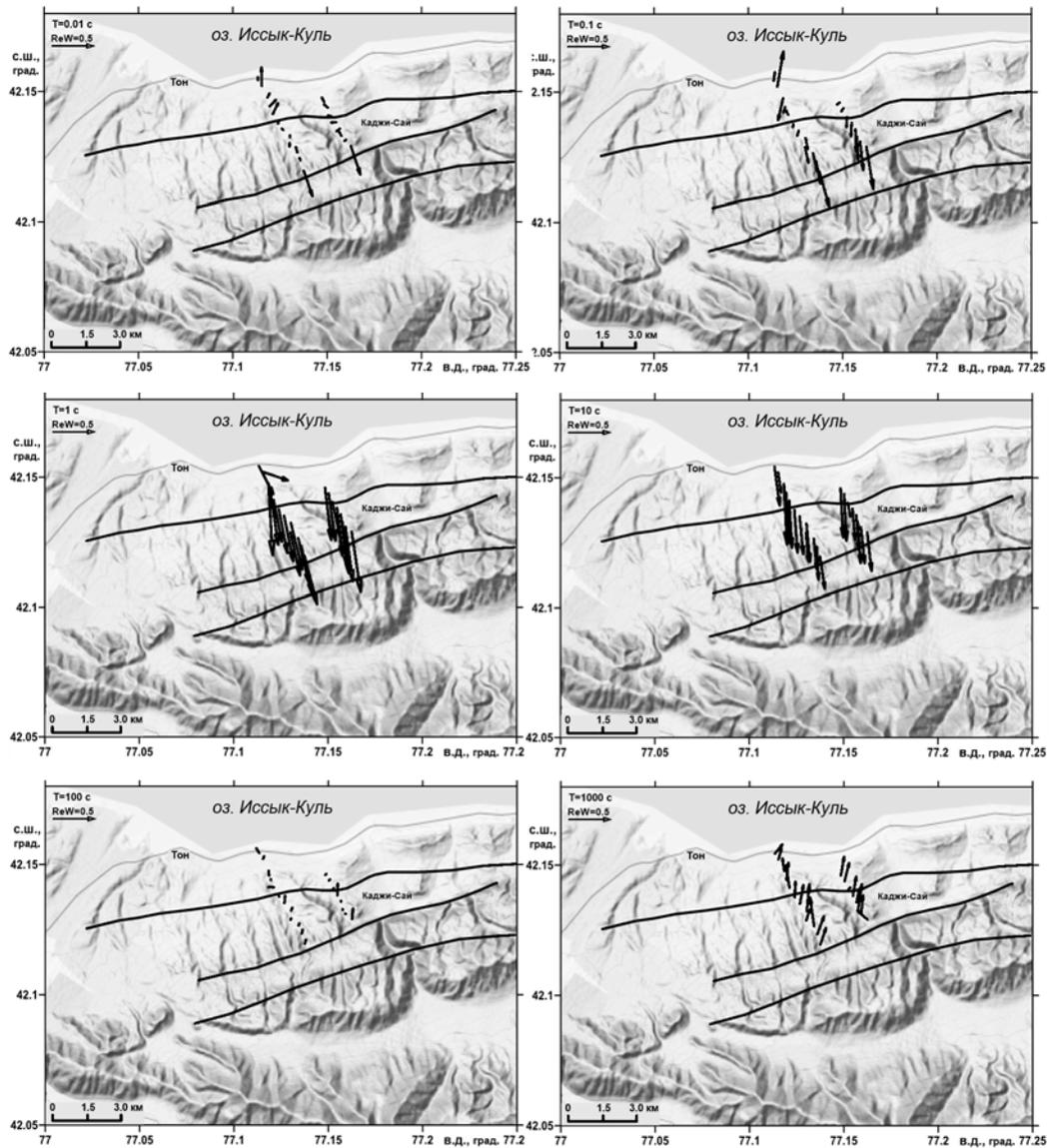


Рис. 18. Карты реальных векторов Визе для участка Каджи-Сай (общее расположение см. рисунок 1с) для периодов $T=0.01, 0.1, 1, 10, 100, 1000$ с. Чёрными линиями показаны разломные структуры.

На рис. 19 показаны роза-диаграммы простирания электрических структур (Strike) по всем пунктам профиля А-В участка Каджи-Сай (Рис. 7с) для периодов в интервалах 1-10 с, и 10-100 с. Обращает на себя внимание выдержанная ортогональность между направлениями Strike (рис. 19) и ReW (рис. 18) по рассматриваемому локальному профилю в диапазоне периодов 1-100 с. Таким образом, также, как и на южном борту Кочкорской впадины, наблюдаемая ортогональность является дополнительным подтверждением двумерности рассматриваемого участка.

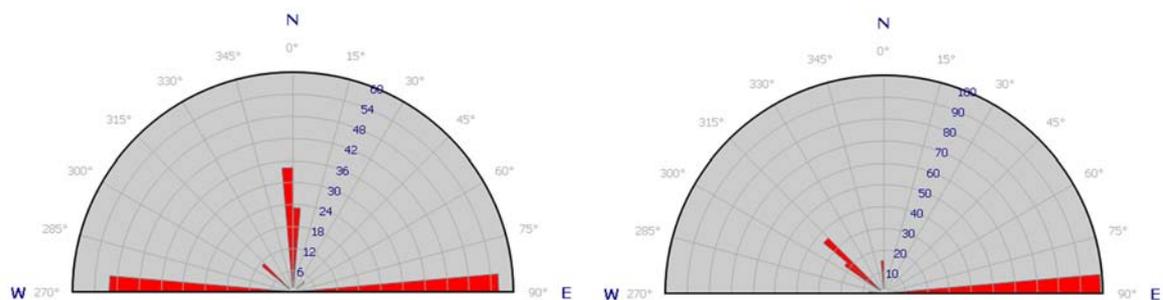


Рис. 19. Роза-диаграммы простираения электрических структур (Strike) по 12 пунктам профиля А-В участка Каджи-Сай для интервала периодов 1-10с, слева и для интервала периодов 10-100с, справа. Положение профиля см. рисунок 7с.

Диапазон периодов (количество декад), устанавливаемых для инверсии данных по локальным профилям, был ограничен максимальным значением $T=100$ сек, с целью выделения интервала глубин разреза, в котором сохраняется высокая степень двумерности данных, хотя экспериментальные данные содержат значительно более длинные периоды зондирования (до 1600-2000 с).

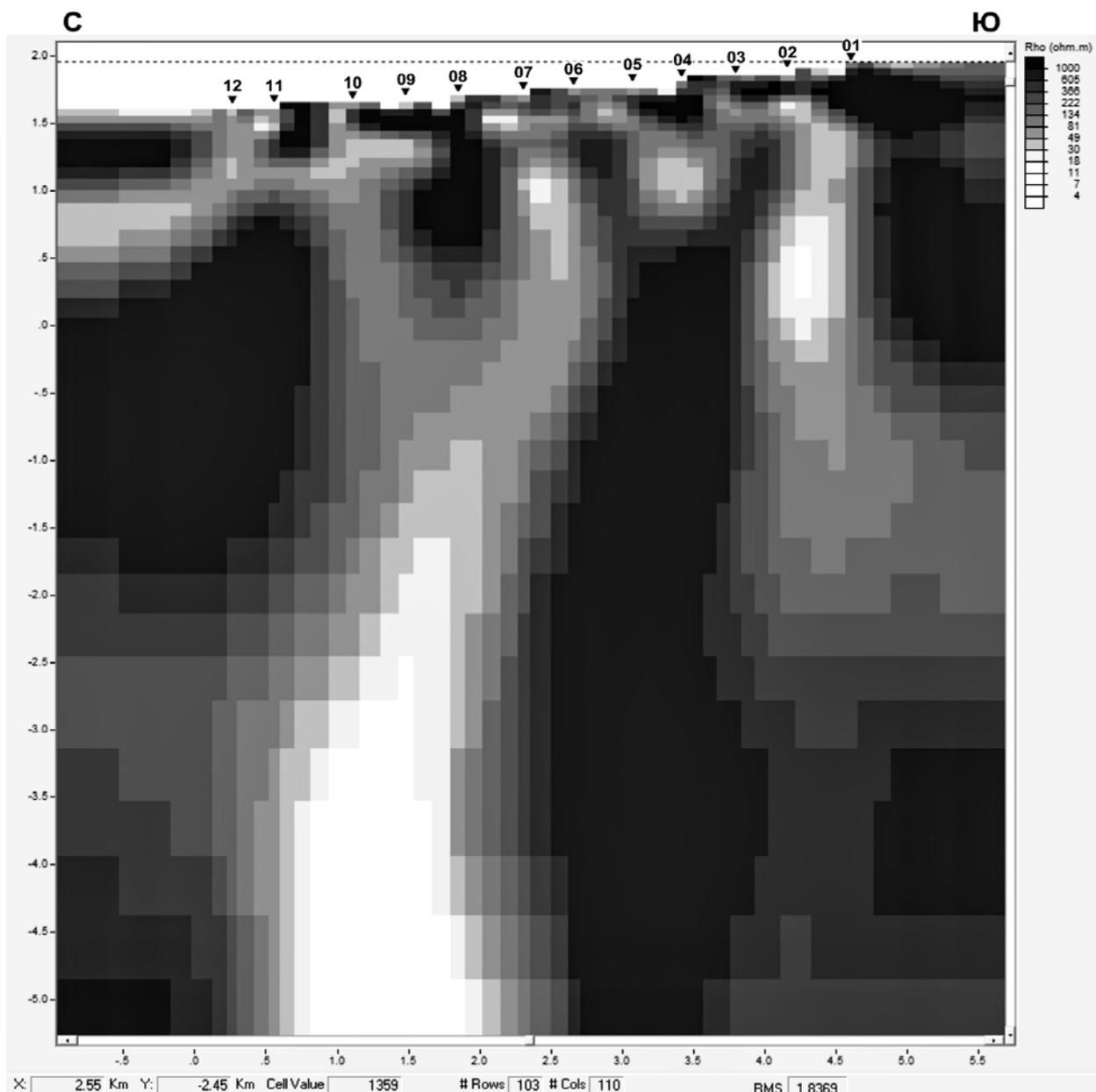


Рис. 20. Двумерная геоэлектрическая модель по профилю А – В через участок Каджи-Сай, расположенный на южном берегу озера Иссык-Куль и отрогах хребта Терской Алатау.

Байтикская впадина

МТ-зондирования территории Бишкекского геодинамического полигона на профилях W-W, С-С и Е-Е (рис. 1а), расположенных на участке –миниполигон Кентор (южный борт Чуйской впадины, отроги Киргизского хребта) были выполнены с помощью станций канадской фирмы «Феникс» Phoenix - MTU-5 [Фох, 2001], как и на других локальных профилях, описанных выше. Для построения геоэлектрической модели используются данные МТ-наблюдений по профилю W-W, где широкополосные зондирования (Phoenix - MTU-5) объединены с зондированиями в аудио-диапазоне (Phoenix - MTU-5А) чем достигается ширина диапазона периодов регистрации МТ-поля 0.0001с- 1600с.

На нижней панели рисунка 7а показаны линейные структуры (разрывы, зоны трещиноватости, флексуры) на которых фиксируются относительные смещения блоков земной коры с различной кинематикой движений в четвертичное время. Обращает на себя внимание факт наличия большого числа поперечных к простиранию южного борта Чуйской впадины молодых дислокаций. Деформационные процессы на указанных поперечных структурах отражающиеся в формировании трещиноватых (электропроводящих) зон могут существенно нарушать предполагаемую двумерность модели.

Рассмотрение приведенных на рисунке 21 псевдорезов логарифмов продольных кажущихся сопротивлений LogRo_{yx} и фаз импеданса Fi_{yx} вдоль линии профиля W-W свидетельствует об наличии в экспериментальных данных проявлений эффекта статического смещения. На псевдорезе продольного кажущегося сопротивления Ro_{yx} , изолинии располагаются субвертикально, что особенно существенно для низкочастотной части псевдореза. Это указывает на значительную разницу в значениях электросопротивлений между соседними пунктами зондирования и, соответственно на наличие статического смещения кривых Ro_{yx} . Конфигурация изолиний на псевдорезах фаз продольного импеданса Fi_{yx} где по – определению отсутствует эффект статического смещения кривых, резко отличается от картины изолиний логарифмов продольных кажущихся сопротивлений LogRo_{yx} . Таким образом, по рассматриваемому профилю необходимо проведение нормализации (коррекции эффекта статического смещения) кривых кажущегося сопротивления.

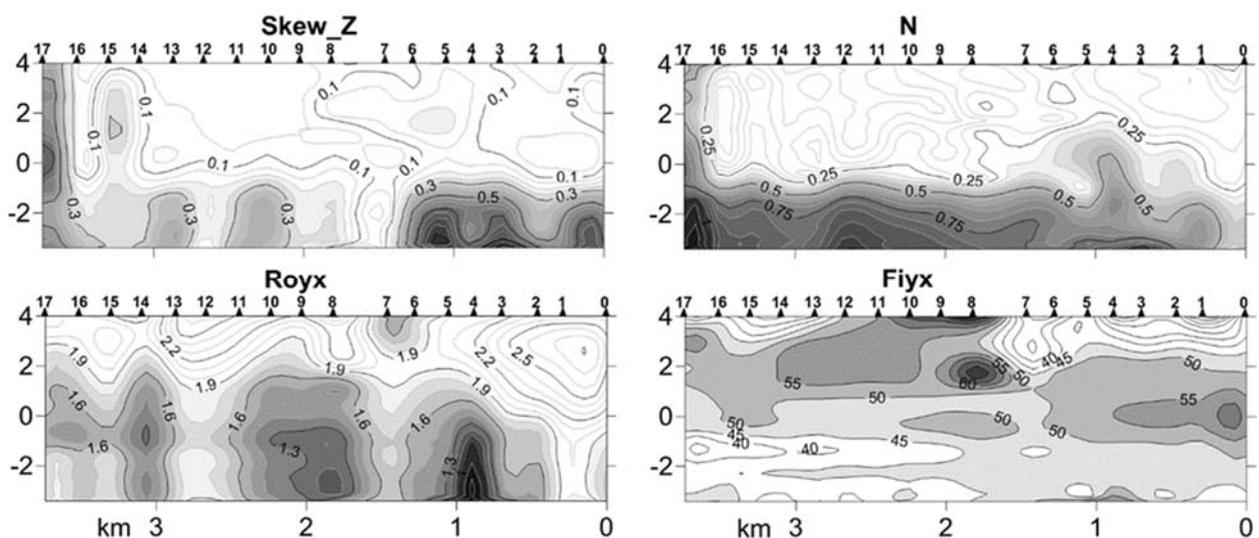


Рис. 21. Псевдорезы вдоль линии профиля W-W (рис. 7): верхняя панель - параметр асимметрии $\text{Skew } Z$ и параметр неоднородности N ; нижняя панель – псевдорезы кажущегося сопротивления Ro_{yx} и фазы импеданса Fi_{yx} .

На рис. 22 реальные индукционные стрелки $\text{Re}W = \text{Re}W_{zx} + \text{Re}W_{zy}$ изображены в виде векторов Визе, т.е. направлены от оси избыточного тока. Карты реальных индукционных векторов для периодов $T=0.01, 0.1, 1, 10, 100, 1000$ с представлены на схеме четвертичной тектоники участка Кентор. На периодах $T=1, 10$ и 100 с наблюдается высокая коллинеарность векторов Визе, при их длине от 0.3 до 0.6, что указывает на хорошее качество их определения и устойчивую двумерность разреза для этих периодов.

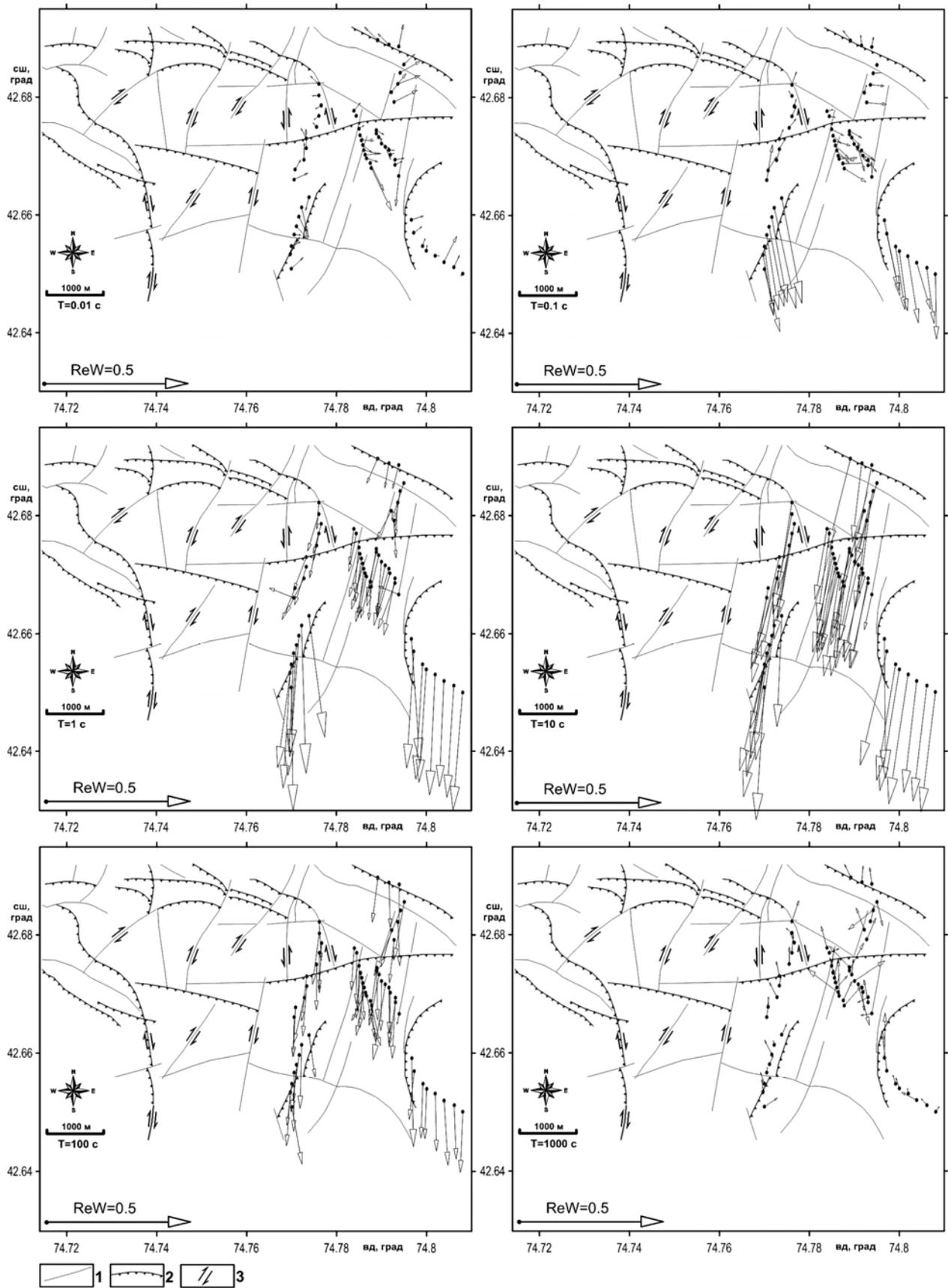


Рис. 22. Карты реальных векторов Визе для участка Кентор (общее расположение см. рисунок 1а) для периодов $T=0.01, 0.1, 1, 10, 100, 1000$ с. Разломные структуры: 1 - разрывы, зоны трещиноватости, флексуры; присутствие 2- надвиговой компоненты, 3- сдвиговой компоненты.

На периоде $T=1000$ с реальные вектора Визе по всем профилям имеют небольшие положительные значения около 0.05 - 0.2, которые хотя и осложнены неоднородностями, соответствует характеристикам корового проводника с возрастающей к югу проводимостью.

На периоде $T=100$ с средняя длина реальных векторов Визе по всем пунктам профилей W-W, С-С и Е-Е участка Кентор составляет около 0.2 - 0.3, с устойчивой южной ориентацией. Вероятно, что на периоде зондирования $T=100$ с для участка Кентор стабилизирующим фактором для векторов Визе является широтно-ориентированный предкиргизский прогиб Чуйской впадины, заполненный осадочными породами с суммарной продольной проводимостью около 400 См. Коллинеарность (в пределах точности измерения) наблюдаемых индукционных векторов ReW, выдержанность по ориентации и однонаправленность по нескольким профилям на рассматриваемой территории в диапазоне периодов 1-100 с позволяют предполагать региональную двумерность коровой проводимости.

На рис. 23 показаны роза-диаграммы простираения электрических структур (Strike) по всем пунктам профиля W-W участка Кентор (Рис. 7а) для периодов в интервалах 1-10 с, и 10-100 с. Обращает на себя внимание ортогональность (в пределах точности наблюдений) между направлениями Strike (рис. 23) и ReW (рис. 22) по рассматриваемому локальному профилю в диапазоне периодов 1-100 с. Таким образом, также, как и на южном борту Кочкорской и Иссык-Кульской впадины, наблюдаемая ортогональность является дополнительным подтверждением двумерности геоэлектрической структуры рассматриваемого участка.

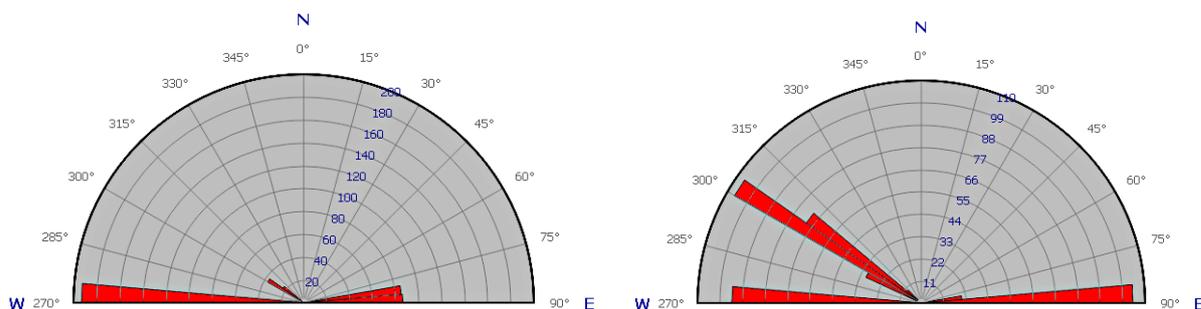


Рис.22. Роза-диаграммы простираения электрических структур (Strike) по 11 пунктам профиля С-С для интервала периодов 1-100с, слева и по 26 пунктам профиля Е-Е для интервала периодов 1-100с, справа. Положение профилей см. рисунок 7а.

Поперечная раздробленность борта Чуйской депрессии на участке «Кентор», по-видимому, является фактором, существенно увеличивающим степень трехмерности среды для периодов зондирования ниже одной секунды.

На рисунке 24 показана двумерная геоэлектрическая модель по профилю W – W на участке Кентор, расположенную на южном борту Чуйской впадины.

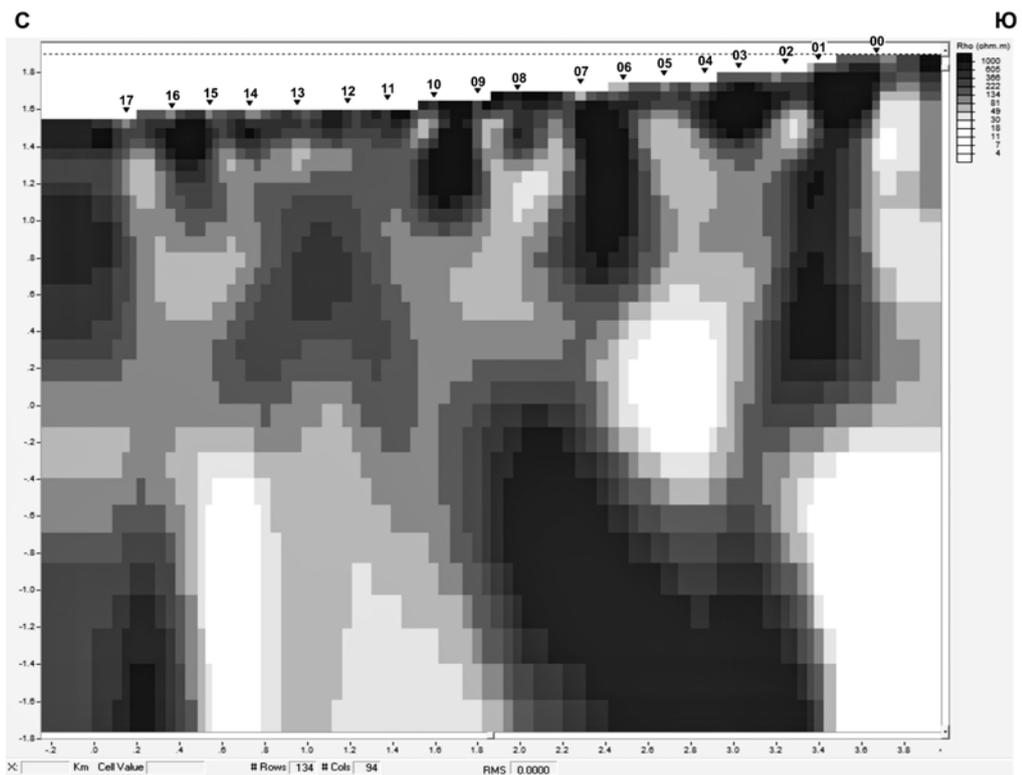


Рис. 24. Двумерная геоэлектрическая модель по профилю W – W через участок Кентор, расположенный на южном борту Чуйской впадины и отрогах Киргизского хребта. Положение профиля см. рисунок 7а.

Поперечная раздробленность борта Чуйской депрессии на участке Кентор, по-видимому, является фактором, существенно увеличивающим степень трехмерности среды для периодов зондирования ниже одной секунды.