

## **МАССИВ МТ/МВ ЗОНДИРОВАНИЙ KIROVOGRAD: СОВМЕСТНАЯ 2D+ ИНВЕРСИЯ НА ПРОФИЛЕ ЖИЗДРА**

**Варенцов Ив.М., Лозовский И.Н., Рабочая группа KIROVOGRAD**

Центр геоэлектроманнитных исследований Института физики Земли РАН, Москва, Троицк

Представлена новая модель геоэлектрического строения литосферы вдоль широтного профиля ЖИЗДРА (севернее Брянска) по результатам синхронных магнитотеллурических (МТ) и магнитовариационных (МВ) зондирований, выполненных в рамках международного проекта KIROVOGRAD. Построение данной модели велось по 8-компонентному ансамблю МТ/МВ данных с учетом их 3D искаженности по методике 2D+ инверсии. Обсуждаются детали применения данной методики, геоэлектрическая структура полученных моделей и природа выявленных аномалий в сопоставлении с другими геолого-геофизическими данными.

*Ключевые слова:* магнитотеллурический и магнитовариационный методы, геоэлектрические модели литосферы, Воронежский массив, протерозойские коллизионные зоны, обратные задачи

В последнее десятилетие на западном склоне Воронежского массива развернут массив синхронных МТ/МВ зондирований KIROVOGRAD [1-3], обеспечивший (вопреки высокому уровню промышленных электромагнитных шумов) получение качественных оценок импеданса, типпера и горизонтального МВ отклика в диапазоне периодов, достаточном для изучения всей литосферы [1]. Эксперимент нацелен на изучение древних коллизионных зон, проявляющихся в виде квазилинейных аномалий коровой электропроводности [3]. Профиль ЖИЗДРА, проходящий севернее Брянска по 53.7°с.ш., представляется наиболее благоприятным для проведения интерпретации полученных МТ/МВ данных средствами 2D инверсии в силу их минимальной искаженности 3D эффектами (рис. 1). Отчетливой двумерностью здесь характеризуются горизонтальные МВ отклики, указывающие на простирание доминирующих глубинных геоэлектрических структур перпендикулярно профилю. Аналогична (хотя и с большим разбросом) ориентация эллипсов главных направлений фазового тензора импеданса [1]. На этом фоне, однако, заметны существенные искажения индукционных векторов, уклоняющихся от направления вдоль профиля под действием приповерхностных токов в прилегающей с севера бортовой зоне Московской синеклизы.

Первые результаты решения обратных задач на данном профиле, полученные по различным программам и ансамблям данных, представлены в работах [1-5]. Особую роль в этих исследованиях играет методика совместной 2D+ инверсии МТ/МВ данных, позволяющая анализировать сводный 8-компонентный ансамбль данных двух мод импеданса, типпера и горизонтального МВ отклика с учетом имеющихся 3D искажений [1,6,7]. Модель, построенная в рамках такого подхода, представлена на рис. 2б [1,5].

В январе 2013 г. на западном фланге данного профиля были выполнены дополнительные зондирования в п. ZA, ZB и ZC до границы с Белоруссией, в результате протяженность профиля увеличилась до 235 км. В данной работе представлена новая модель 2D+ инверсии по расширенному массиву зондирований.

Использована схема параметризации модели с коррелированными изменениями сопротивлений ячеек инверсии [6]. 2D структура модели подбиралась до глубины 100 км, соответствующей глубинности зондирований, оцениваемой по эффективному кажущемуся сопротивлению на длинных периодах. Ниже подбирались лишь сопротивления фоновой слоистой 1D модели. Инвертируемый 8-компонентный ансамбль данных в 13 пунктах зондирования включал две моды импеданса (EP и HP, в каждой моде — кажущееся сопротивление и фазу), типпер (Re и Im) и горизонтальный МВ отклик (в нормировке на самую западную точку профиля НАВЛЯ — см. рис. 1, модуль и фазу). При этом фазы импеданса были взяты из его фазового тензора [1]. Данные импеданса и типпера задавались для периодов 0.5-4096 с, а горизонтального МВ отклика — для периодов 64-4096 с.

Погрешности данных, учитываемые в ходе инверсии, увеличивались пропорционально степени 3D искаженности соответствующих элементов данных - оценкам трехмерности и неадекватной двумерности (неперпендикулярности профилю локальных оценок простирания) соответствующих передаточных операторов [1,7]. Приоритет в инверсии получали элементы данных с хорошей двумерностью и лишь по мере их подбора начинали учитываться 3D искаженные элементы. Для

явного подавления статических искажений погрешности кажущихся сопротивлений увеличивались в еще большей степени — на начальном этапе итераций инверсии принимался во внимание лишь их средний уровень.

Итоговая модель 2D+ инверсии показана на рис. 2в. Наблюдается надежная сходимость итераций инверсии при отчетливой устойчивости основных геоэлектрических структур на заключительном этапе итерационного процесса. Нормы достигнутых абсолютных невязок для псевдорезов инвертируемых и модельных компонент данных составляют, соответственно, 0,036, 0,073 и 0,057 для амплитуды горизонтального МВ отклика и Re, Im частей типпера,  $9.6^\circ$ ,  $4.3^\circ$  и  $3.7^\circ$  - для импедансных фаз (EP и HP) и фазы горизонтального МВ отклика. Их сопоставление для наиболее информативных компонент амплитуды горизонтального МВ отклика и HP-фазы импеданса приведено на рис. 3.

В представленной модели доминирует субгоризонтальный коровый проводник шириной ~120 км с глубиной верхней кромки ~20 км и продольной проводимостью, достигающей 1500-2000 См. Его мощность составляет ~10 км, что несколько меньше данной мощности в предшествующей модели (рис. 2б). Данная аномалия электропроводности хорошо коррелируется с положительной аномалией Буге (рис. 2а). Выше нее просматриваются две менее контрастные вертикальные проводящие зоны с сопротивлением 100-300 Ом, приуроченные к глубинным разломным зонам, проявляющимся в положительных магнитных аномалиях разного масштаба (рис. 2а) [1-3,5]. Приповерхностные проводящие осадки (с суммарной продольной проводимостью до 50 См) выделяются на глубине менее 500 м с трендом увеличения мощности и проводимости в западном направлении (к Оршанской впадине). Ниже сопротивление вмещающей среды выходит на уровень, превышающий  $3 \cdot 10^3$  Ом.

Похожая структура коровых аномалий наблюдается севернее и южнее на смежных профилях КИРОВ и НАВЛЯ [1,3]. Выявленная субгоризонтальная коровая аномалия представляется северным продолжением Курской аномалии электропроводности [1], ее природа связывается с графитизированными и сульфидизированными раннепротерозойскими метаосадками [2,3]. Наложение в плане нижнекоровой аномалии электропроводности и верхнекоровых магнитных аномалий свидетельствует о вертикальной согласованности проявления древних коллизионных процессов в пределах мощностей в десятки км. Это предполагает повышенную проницаемость земной коры, определяющую благоприятные минерагенические перспективы.

Исследования выполнены при частичной поддержке РФФИ (гранты 11-05-12030\_офим и 13-05-12094\_офим).

1. Варенцов Ив.М., Ковачикова С., Куликов В.А. и др. Синхронные МТ и МВ зондирования на западном склоне Воронежского массива // Геофизический журнал. 2012. Т. 34. № 4. С. 90-107
2. Алексанова Е.Д., Варенцов Ив.М., Куликов В.А. и др. Глубинные аномалии электропроводности в северной части Воронежской антеклизы // Геофизика. 2013. №2. С. 32-38
3. Варенцов Ив.М., Гордиенко В.В., Гордиенко И.В. и др. Склон Воронежского кристаллического массива (геофизика, глубинные процессы). Киев: Логос. 2013. 118 с
4. Варенцов Ив.М., Алексанова Е.Д., Баглаенко Н.В. и др. Массив синхронных МТ/МВ зондирований KIROVOGRAD: первые модели 2D инверсии // Материалы V Всероссийской школы-семинара им. М.Н. Бердичевского и Л.Л. Ваньяна по ЭМ зондированиям Земли. Т. 1. СПб.: СПбГУ. 2011. С. 188-194
5. Абрамова Д.Ю., Абрамова Л.М., Варенцов Ив.М. и др. Корреляция аномалий постоянного магнитного поля и коровых геоэлектрических структур на западном склоне Воронежского массива // Геофизический журнал. 2012. Т. 34. № 4. С. 62-69
6. Варенцов Ив.М. Общий подход к решению обратных задач магнитотеллурики в кусочно-непрерывных средах // Физика Земли. 2002. № 11. С. 11-33
7. Варенцов Ив.М. Прагматическая 2D инверсия синхронных ансамблей МТ/МВ откликов // Материалы V Всероссийской школы-семинара им. М.Н. Бердичевского и Л.Л. Ваньяна по ЭМ зондированиям Земли. Т. 2. СПб.: СПбГУ. 2011. С. 17-21

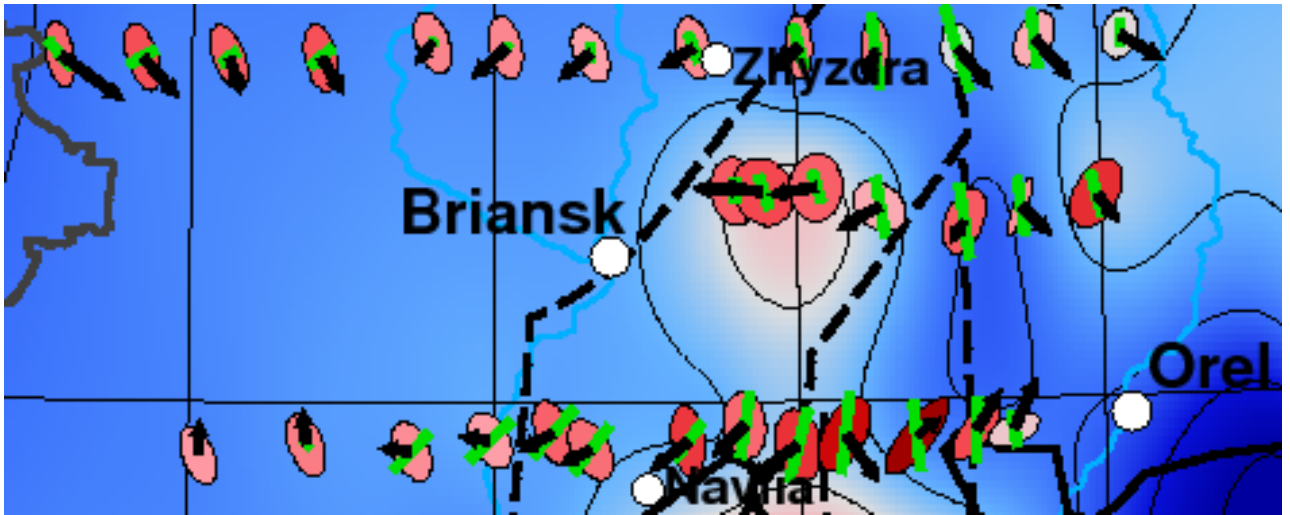


Рис. 1. Фрагмент сводной карты МТ/МВ откликов массива KIROVOGRAD для периода 400 с [3]: изолинии максимальной фазы фазового тензора импеданса и эллипсы экстремальных фаз фазового тензора импеданса (эллипсы повернуты на 90°, их цвет определяется величиной минимальной фазы), фазы около 0° - синие, около 90° – красные; черные стрелки - действительные векторы индукции, зеленые штрихи – максимальные оси горизонтальных МВ эллипсов (также повернутые на 90°).

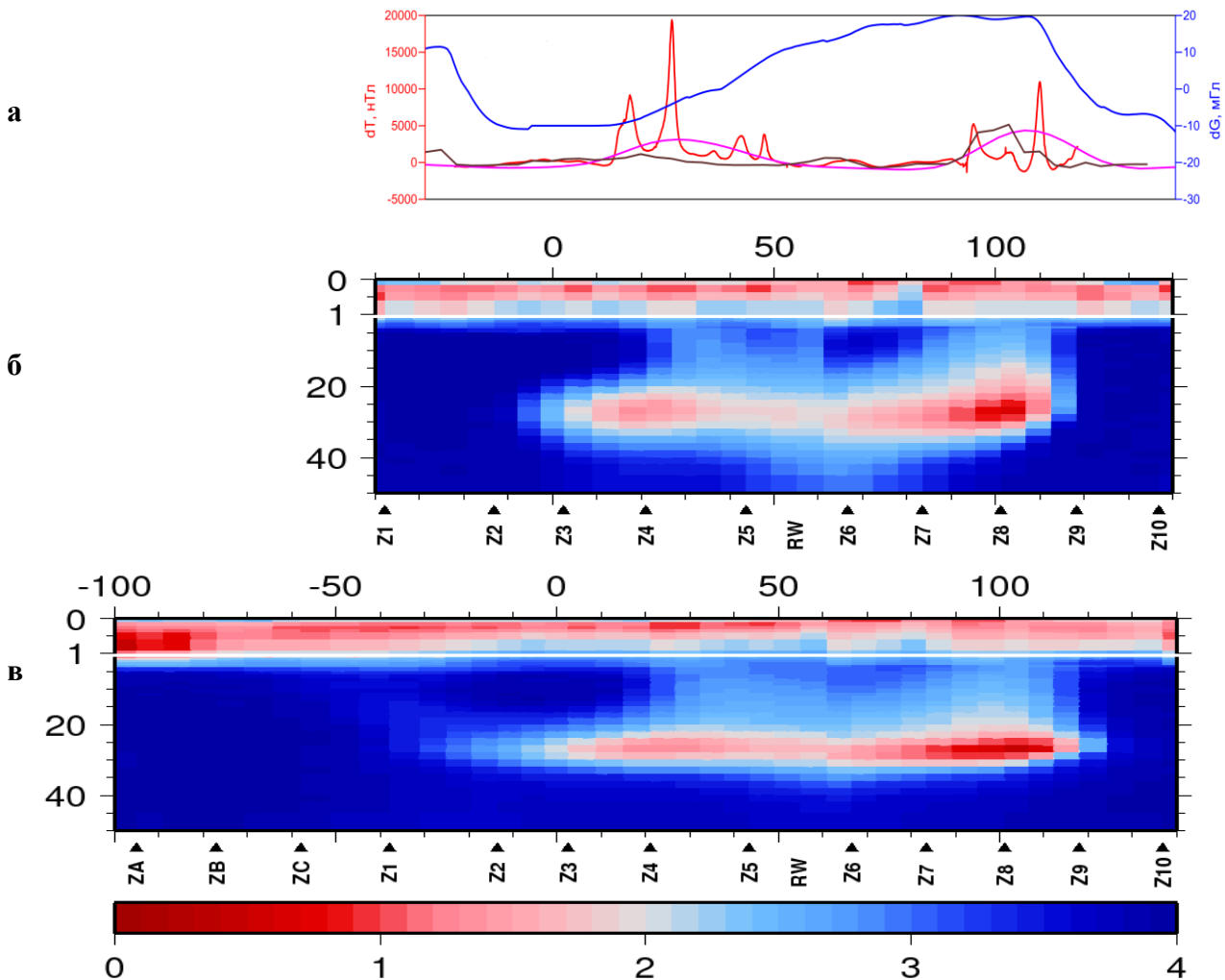


Рис. 2. Геоэлектрические модели (Омм, lg-шкала) вдоль профиля ЖИЗДРА по результатам совместной 8-компонентной 2D+ инверсии МТ/МВ данных (б – предшествующая модель [1], в – новая модель по расширенному на запад массиву зондирований) и профильные графики потенциальных полей (а, синий – аномалия Буге, другие цвета – магнитные аномалии разного масштаба [5]); начало горизонтальных координат (в км) – на меридиане 34° в.д., запад – слева, восток – справа.

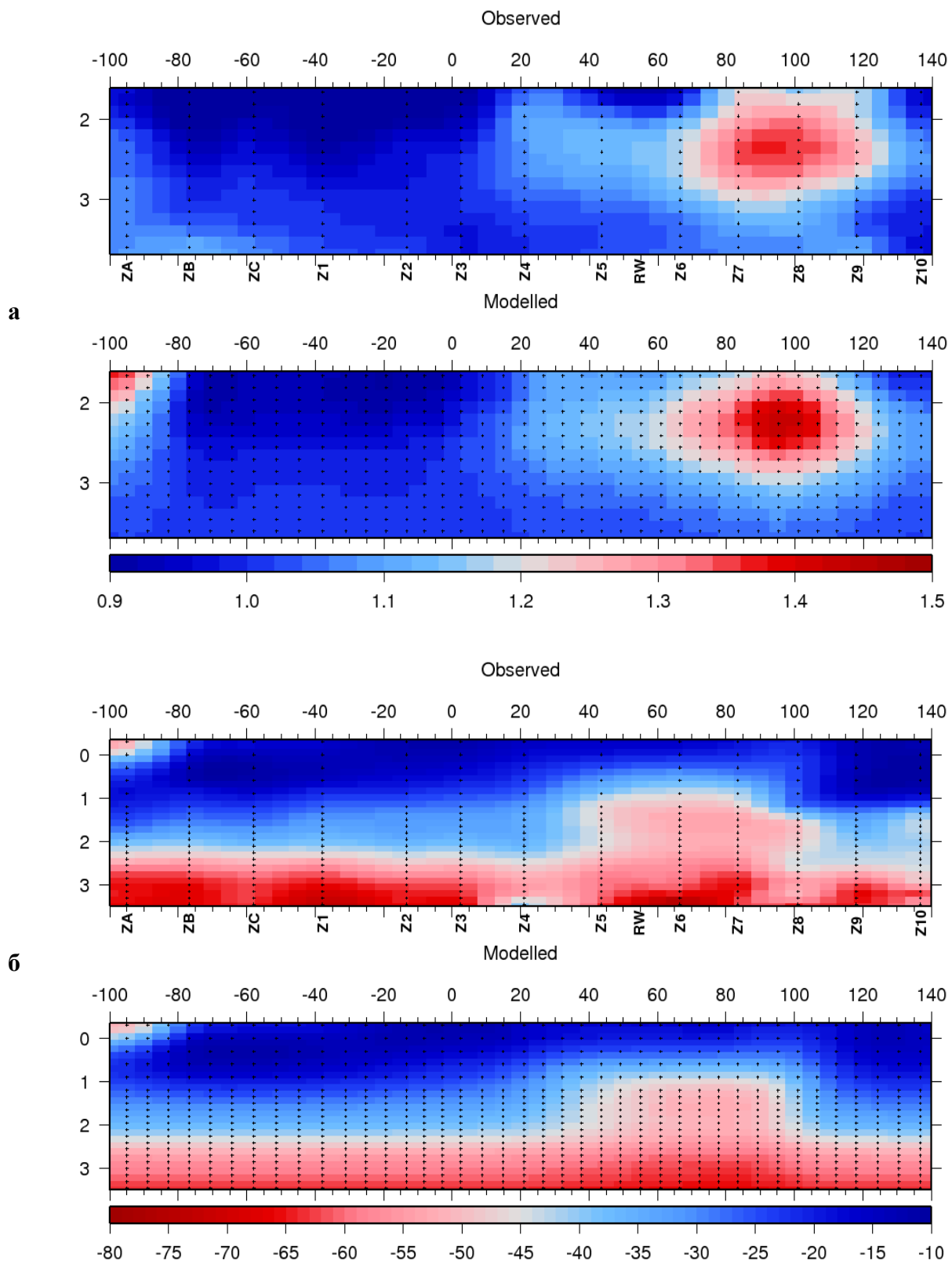


Рис. 3. Сопоставление псевдоразрезов важнейших компонент наблюдаемых и модельных данных (верхние и нижние панели, соответственно) для итоговой модели 2D+ инверсии, показанной на рис. 2в: **а** – амплитуда горизонтального MB отклика (абс. невязка подбора 0.036), **б** – фаза импеданса  $Z_{HR}$  (абс. невязка подбора  $4.3^\circ$ ).