

ГЛУБИННАЯ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ЗАПАДНОГО СКЛОНА ВОРОНЕЖСКОГО МАССИВА: НА ПУТИ ОТ 2D К 3D МОДЕЛЯМ

**Варенцов Ив.М.¹, Иванов П.В.¹, Ковачикова С.², Куликов В.А.³, Логвинов И.М.⁴,
Лозовский И.Н.¹, Рабочая группа KIROVOGRAD**

¹ - Центр геоэлектромагнитных исследований Института физики Земли РАН, Москва, Троицк

² – Геофизический институт Чешской АН, Прага

³ – Геологический факультет МГУ, Москва

⁴ – Институт геофизики НАНУ, Киев

Представлены последние результаты по расширению и детализации массива синхронных магнитотеллурических (МТ) и магнитовариационных (МВ) зондирований KIROVOGRAD на западном склоне Воронежского массива. Обсуждаются пути перехода от профильной интерпретации полученных данных к площадным 3D построениям. Представлены новые результаты решения задачи квази-3D инверсии горизонтальных МВ откликов в многопленочной модели. Предложена схема использования распределений продольной проводимости осадочного чехла и земной коры, полученных путем интеграции серии профильных моделей многокомпонентной 2D+ инверсии МТ/МВ данных и результатов квази-3D инверсии МВ данных, при построении начальной модели для решения задачи 3D инверсии импедансных данных.

Ключевые слова: магнитотеллурический и магнитовариационный методы, геоэлектрические модели литосферы, Воронежский массив, внутриплатформенные шовные зоны, 3D обратные задачи

С 2006 г. в рамках международного проекта KIROVOGRAD с участием ученых из России, Украины, Белоруссии, Польши и Чехии на западном склоне Воронежской антеклизы разворачивается массив синхронных МТ/МВ зондирований с целью изучения геоэлектрической структуры литосферы и, в частности, прослеживания аномалий электропроводности, ассоциированных с древними платформенными шовными зонами и областями современной активизации [1-3]. Эти исследования нацелены на применение передовых методов и технологий проведения комплексных синхронных зондирований, обеспечивающих существенное подавление электромагнитных шумов (в том числе регионально коррелируемых) и надежное оценивание сразу трех передаточных операторов: импеданса, типпера и горизонтального МВ отклика с последующей их совместной интерпретацией методами устойчивого решения обратных задач, учитывающими трехмерность получаемых МТ/МВ данных [1]. Данный эксперимент стал первым примером построения масштабного массива синхронных зондирований на постсоветском пространстве, следуя за европейскими экспериментами BEAR и EMTESZ-Pomerania [4]. К середине 2012 г. массив KIROVOGRAD включал [1] более 10 профилей и 130 синхронных зондирований с базовыми пунктами в обл. "Киев" (KIV) и на Геофизической базе МГУ (ALX), а также более 100 кондиционных локальных зондирований, выполненных до 2005 г. Зимой 2012-13 г. было сделано еще 25 детализационных синхронных зондирований, последние 13 были проведены летом 2013 г. северо-западнее Брянска и западнее Белгорода. Таким образом, обеспечено достаточно равномерное покрытие обширной территории (49-55°с.ш., 31-37°в.д.) со сгущением наблюдений в пределах ярких аномальных структур.

На рис. 1 представлена сводная карта важнейших инвариантов всех трех исследуемых передаточных операторов, характеризующих простирание и размерность доминирующих аномалий. Большие максимальные оси амплитуды горизонтального МВ отклика отчетливо выделяют квазилинейные коровые аномалии (Кировоградскую – на ЮЗ, Курскую – на ЮВ и Кирово-Барятинскую – на севере) и осадочную структуру Днепровско-Донецкой впадины – на юге [1,3]. Индукционные векторы также диагностируют коровые проводники, но, в первую очередь, отражают влияние осадочных токовых систем, окружающих Воронежский массив. Фазовые импедансные отклики и кажущиеся сопротивления приоритетно указывают на изометричную глубинную аномалию между Шосткой и Курском, "шунтирующую" токи, текущие в Кировоградской и Курской аномалиях. В целом, геоэлектрическая структура в пределах массива существенно трехмерна и лишь на отдельных профилях (НАВЛЯ, БРЯНСК, ЖИЗДРА и КИРОВ) есть перспектива успешного проведения 2D интерпретации [1,2,5,6].

Первые шаги на пути трехмерных построений заключались в построении карты продольной проводимости осадочного чехла по выполненным МТ зондированиям и комплексу априорных сведений [1] (рис. 2а) и интеграции серии профильных моделей, полученных в ходе совместной 2D+ инверсии МТ/МВ данных, в карты продольной проводимости для различных интервалов глубин [1,3,5] (рис. 2б). Следующим шагом была пленочная квази-3D инверсия полного оператора горизонтального МВ отклика [1,3,7]. В ней в первой пленке на глубине 2 км фиксировалась продольная проводимость осадков, а во второй на глубине 20 км определялась суммарная продольная проводимость коровых структур. Несмотря на приближенность подхода, он дал разумные результаты, согласующиеся с аналогичными 2D оценками, в особенности в зоне Кировоградской аномалии. На рис. 2в приведена последняя модель квази-3D инверсии, учитывающая детализацию массива, выполненную к весне 2013 г. На этой карте достигнута существенная “фокусировка” аномальных коровых структур. Их восточная ветвь (Курская аномалия и ее северное продолжение – Кирово-Баятинская аномалия) отчетливо совпадают в плане с полосой крупнейших положительных магнитных аномалий – Курской и Баятинской.

Для прояснения 3D структуры зоны сочленения выявленных коровых аномалий и взаимного влияния приповерхностных и глубинных структур необходимо подключение импедансных данных, чувствительных к вертикальным токовым системам. Ведется решение задачи 3D инверсии полного тензора импеданса в рамках метода [8]. Специфика этого решения заключается в использовании начальных моделей, основанных на рассмотренных выше оценках осадочной и коровой продольных проводимостей. Использование результатов квази-3D инверсии горизонтальных МВ откликов обеспечивает дополнительную стабилизацию, поскольку данные отклики практически не подвержены приповерхностным искажениям и имеют достаточно простую структуру. В дальнейшем предполагается применение алгоритмов 3D инверсии, явно обеспечивающих совместный анализ всех имеющихся МТ/МВ данных.

Исследования выполнены при частичной поддержке РФФИ (гранты 11-05-00491_а, 11-05-12030_офим и 13-05-12094_офим). Авторы благодарны всем участникам Рабочей группы KIROVOGRAD [1].

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. Varentsov Iv. M. Arrays of simultaneous EM soundings: design, data processing and analysis // EM sounding of the Earth's interior (Methods in geochemistry and geophysics, 40). New York: Elsevier. 2007. P. 263-277
5. 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
6. Варенцов Ив.М., Лозовский И.Н., Рабочая группа KIROVOGRAD. Массив МТ/МВ зондирований KIROVOGRAD: совместная 2D+ инверсия на профиле ЖИЗДРА // Материалы VI Всероссийской школы-семинара им. М.Н. Бердичевского и Л.Л. Ваньяна по ЭМ зондированиям Земли. Новосибирск: ИНГГ. 2013.
7. Kovacicova S., Varentsov Iv.M., Logvinov I.M., KIROVOGRAD WG Quasi-3D inversion of the horizontal MV responses in SW Russia // XXI Workshop on EM induction in the Earth (Extended Abstracts). Australia, Darwin. 2012. S5.1-P18. 4p.
8. Siripunvaraporn W. 3D MT inversion: an introductory guide for developers and users // Surv. Geophys. 2012. V. 33. P. 5–27

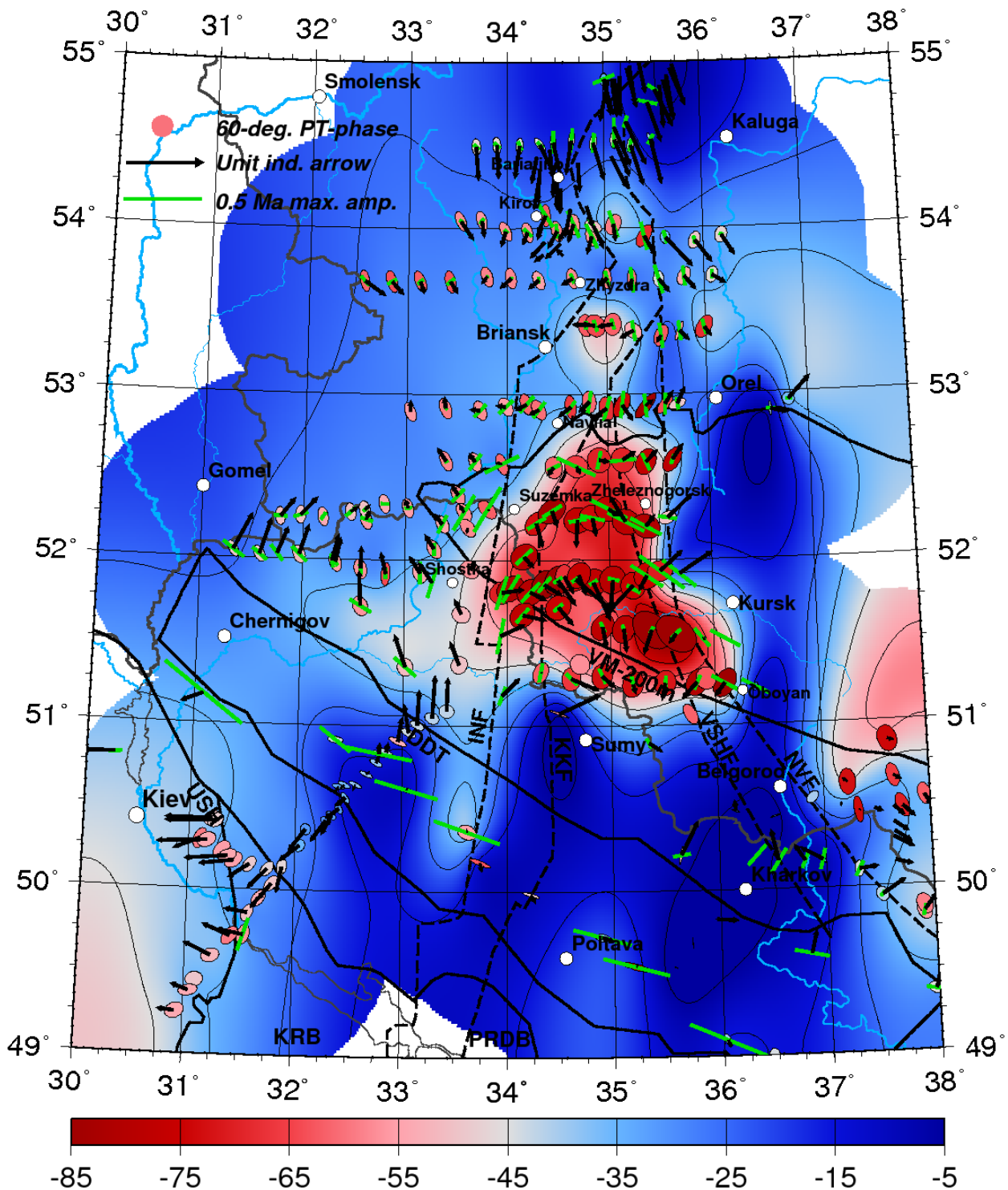


Рис. 1. Сводная карта МТ/МВ откликов массива КИРОВОГРАД для периода 400 с [3]: изолинии максимальной фазы фазового тензора импеданса и эллипсы экстремальных фаз фазового тензора импеданса (эллипсы повернуты на 90°, их цвет определяется величиной минимальной фазы); черные стрелки - действительные векторы индукции, зеленые штрихи - оси максимальной амплитуды горизонтальных МВ откликов (также повернутые на 90°); тектонические границы (сплошные линии): USH - Украинский щит, KRB и PRDB - его палеопротерозойский Кировоградский и архейский Приднепровский мегаблоки, DDT - Днепровско-Донецкая впадина, VM-200m - изолиния 200 м мощности осадков на ВМ; глубинные разломы (пунктир): INF - Западно-Ингулеcko-Белопольско-Навлинский, KKF - Криворожско-Крупецкой, VSHF - Волчанско-Шаблыкский, NVF - Новооскольско-Воронцовский.

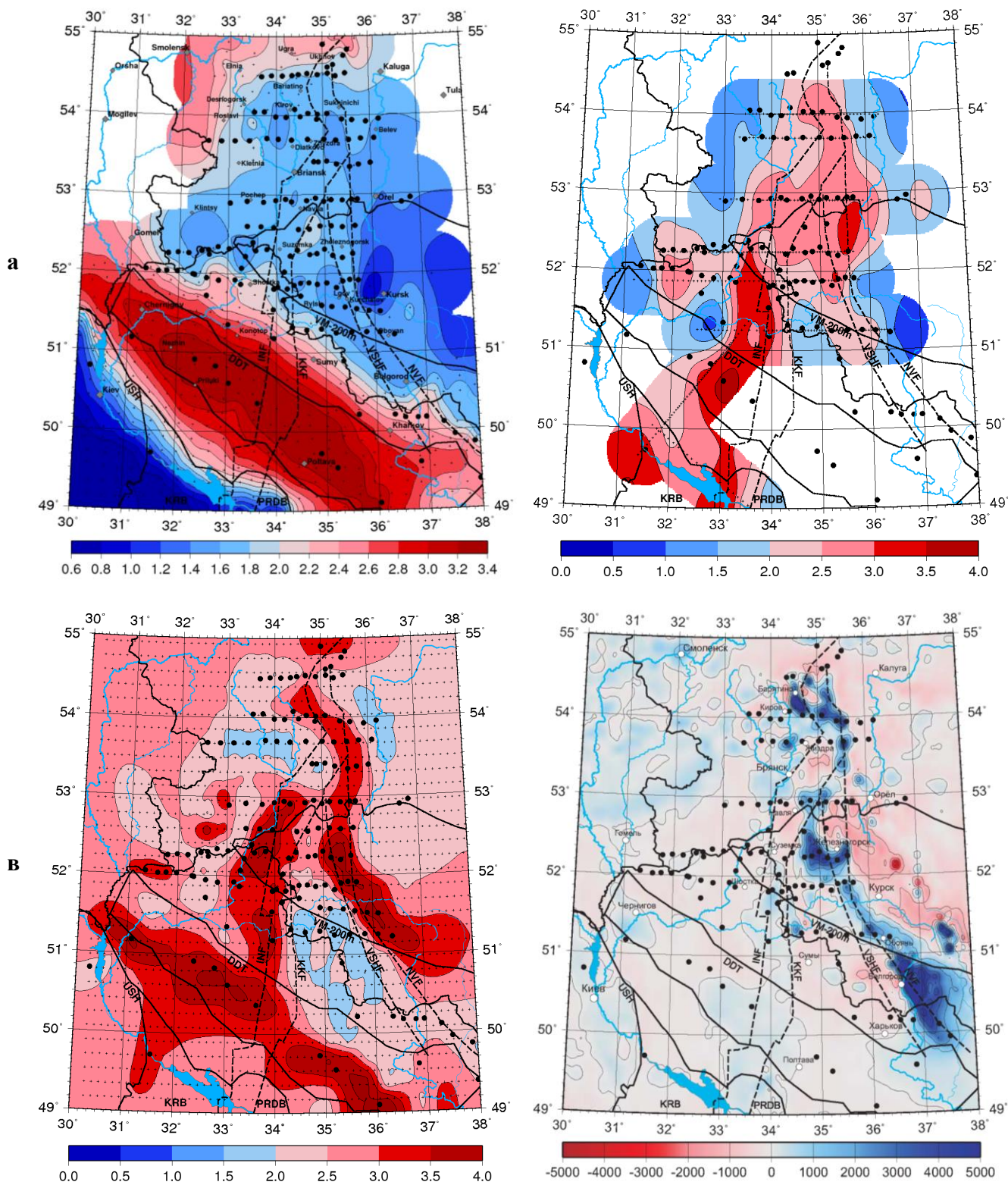


Рис. 2. Карты суммарной продольной проводимости (C_m , lg-шкала) на западном склоне Воронежского массива и сопредельных территориях (а - для осадочного чехла по эффективным оценкам импеданса в точках синхронных зондирований KIROVOGRAD (черные кружки) и результатам анализа [1] электроразведочных данных прошлых лет (крестики); б - для литосферы в диапазоне глубин 10-80 км по результатам 2D+ инверсии 8-компонентных ансамблей МТ/МВ данных (крестики - точки оценивания на профилях); в - для земной коры по результатам пленочной квази-3D инверсии данных горизонтального МВ отклика (глубина пленки 20 км, крестики - центры ячеек инверсии); и карта аномалий постоянного магнитного поля (г, нТл); легенду тектонических линий см. на рис. 1.