

Листрические проводящие структуры в земной коре Фенноскандии: 2D инверсия МТ/МВ данных на профилях Остров – Осташков и Пушкинские горы – Андреаполь

**Ив.М. Варенцов¹, П.В. Иванов¹, А.П. Ионичева¹, В.А. Куликов², И.Н. Лозовский¹,
Пушкарев П.Ю², Т.А. Родина¹**

ivan_varentsov@mail.ru

¹ Центр геоэлектромагнитных исследований ИФЗ РАН, г. Москва, Россия

² Геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

We present results of joint 2D inversion of magnetotelluric and magnetovariational data at profiles of the SMOLENSK sounding array at the junction of major parts of the East-European Craton (Fennoscandia, Sarmatia and Volgo-Uralia). Geoelectric sections at 5 southern and 4 northern profiles of this array are compared, and changes in their structure at the contact of Fennoscandia with Sarmatia and further northwards inside Fennoscandia are traced. The discussion is focused at models along the northernmost profiles PA and OO, which display the specific linkage with western dipping of sedimentary and crustal conductors.

С 2018 г. ЦГЭМИ ИФЗ РАН в кооперации с Геологическим факультетом МГУ проводит глубинные магнитотеллурические (МТ) и магнитовариационные (МВ) зондирования в области сочленения крупнейших сегментов Восточно-Европейской платформы (БЕП): Фенноскандии, Сарматии и Волго-Уралии. Синхронные МТ/МВ наблюдения, выполненные на более 10 преимущественно широтных профилях, составили площадной массив зондирований SMOLENSK [1, 2], существенно расширяющий на СЗ предшествующий аналогичный массив KIROVOGRAD [3, 4]. Текущая конфигурация зондирований массива SMOLENSK показана на рис. 1. В 2022-23 г. выполнены зондирования севернее 56.5°с.ш. на профилях PA, OO и PV. Кроме того, база данных массива пополнилась результатами зондирований на профилях BP и VS, проходящих севернее Октябрьской ж/д [5].

Главными задачами исследований ставились выявление коровых проводящих структур, отражающих нижнепротерозойскую динамику БЕП [1-6], и изучение региональной структуры осадочного чехла и Среднерусской системы авлакогенов [7]. Актуальная карта приповерхностной суммарной продольной проводимости, отражающей вклады проводящих формаций осадочных бассейнов, авлакогенов и самой верхней, измененной и флюидонасыщенной части фундамента [1], показана на рис. 2. В работах [2, 8] приведены первые результаты 2D инверсии данных импеданса и типпера на северных и южных профилях массива SMOLENSK методами ZOND и REBOCC.

В это же время строились геоэлектрические разрезы вдоль всех широтных профилей (от профиля Брянск (BR) на юге до профиля Остров – Осташков (OO) на севере) методом П2D_CR, реализующим общую схему инверсии в кусочно-непрерывных средах [9, 10]. Особенностью применения данного метода стало подавление приповерхностных гальванических искажений импеданса путем существенного снижения веса инвертируемых кажущихся сопротивлений и замены исходных фаз импеданса фазами, извлеченными из его фазового тензора [11], свободными от частотно независимых гальванических искажений [12].

Другим отличием на 8 профилях (от BR до SVR) было вовлечение в инверсию горизонтальных МВ откликов [12]. Эти данные, как и типперы, в длиннопериодном диапазоне иммунны к гальваническим искажениям. Здесь шла совместная инверсия 8-компонентного ансамбля МТ/МВ данных. На двух самых новых северных профилях PA и OO горизонтальные МВ отклики еще не использованы. Результаты инверсии характеризуются вполне удовлетворительными абсолютными нормами невязок [10] МВ данных и импедансных фаз.



Рис. 1. Массив МТ/МВ зондирований SMOLENSK и примыкающая с ЮВ часть массива KIROVOGRAD: красные пятиугольники – синхронные зондирования 2023 г., желтые – проект на 2024 г., черные – синхронные зондирования до 2023 г., большие черные треугольники – геомагнитные обсерватории, меньшие значки – архивные локальные зондирования; пунктиры – изолинии мощности осадков, глубинные разломы [3] и границы Крестцовского авлакогена [7]; зеленые линии – ж/д на переменном токе, красные – на постоянном.

Сводка полученных разрезов показана на рис. 3 (левая колонка – южные профили, правая – северные). Стартовые модели инверсии опирались на нормальный разрез ВЕП [13], но не учитывали априорные предположения о структуре осадков. Южные разрезы характеризуют субдукционное сочленение Фенноскандии и Сарматии [14], северные – целиком остаются в пределах Фенноскандии.

Структура южных разрезов вполне закономерна. Здесь имеется достаточно представительная априорная информация о структуре осадочного чехла [1, 6, 8] хорошо подтверждаемая независимыми результатами 2D инверсии МТ/МВ данных. На востоке в консолидированной коре прослеживаются проводящие структуры Кирово-Барятинской аномалии электропроводности [3, 4]. На западном борту Оршанской впадины на профилях КЗ, МК и ОВ выделяются сходные коровые проводники, вероятно указывающие на аналогичную нижнепротерозойскую шовную зону с проводящими метаосадками. В центре этих трех профилей возникает малоcontrastная, погружающаяся на восток проводящая зона, ассоциируемая с областью древней субдукции [14].

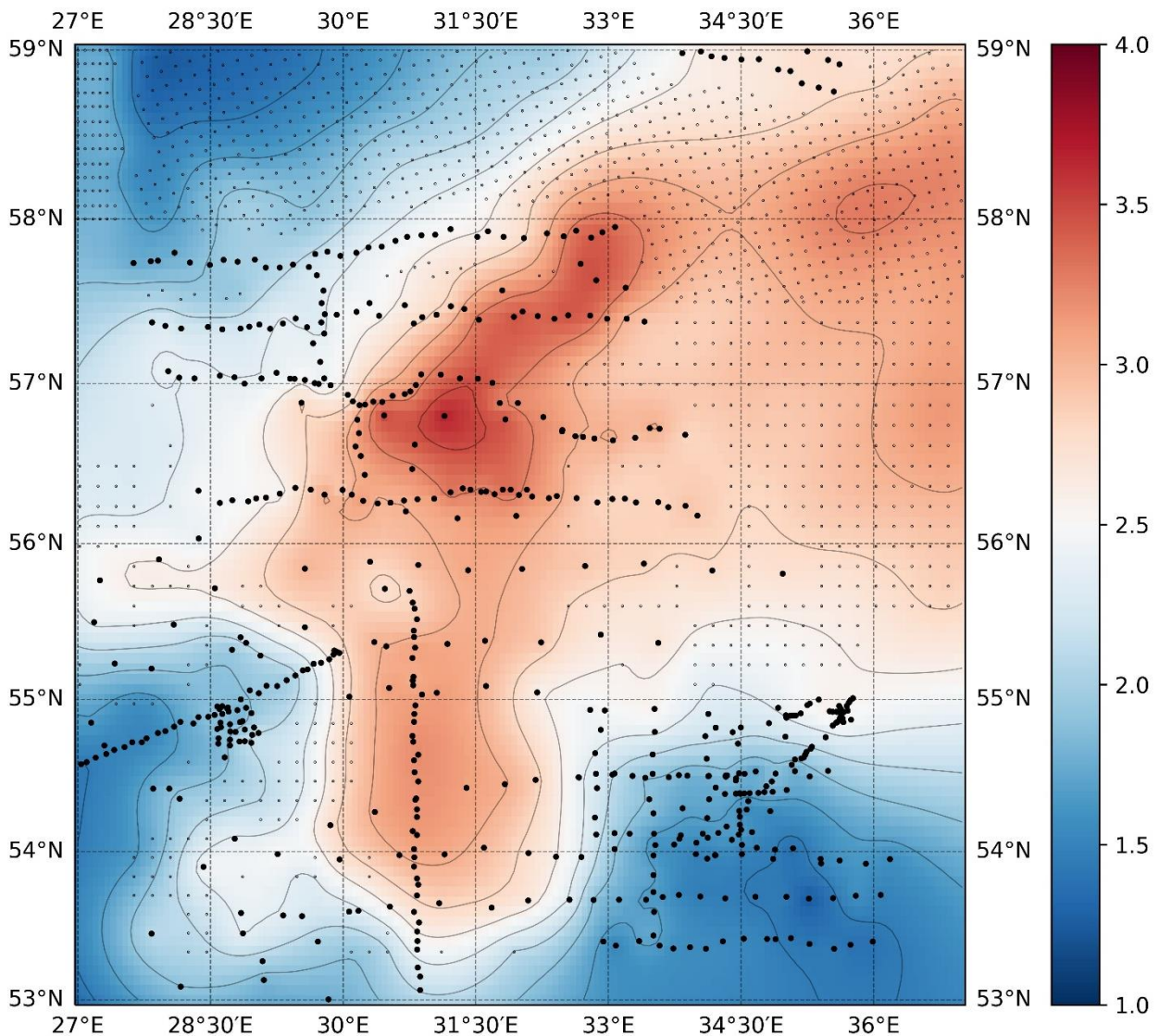


Рис. 2. Карта изолиний приповерхностной суммарной продольной проводимости (См, lg-шкала); пункты зондирований – жирные кружки.

Иная картина наблюдается на 4 северных профилях. Во-первых, здесь нет хорошего согласия геоэлектрической структуры осадков с априорными представлениями (точность которых, впрочем, весьма ограничена малым числом близких опорных скважин) – проводящие структуры глубоких (до 2.5-3 км) авлакогенов продолжают западнее. Во-вторых, в консолидированной коре на профилях NZ и SVR выделяются на глубинах 20-40 км лишь одиночные проводящие структуры шириной до 50 км, расположенные под западными бортами авлакогенов. Эти структуры очень похожи на коровые аномалии, выделяемые южнее под западным бортом Оршанской впадины, но сдвинуты восточнее минимум на 50 км.

Севернее, на профилях PA и OO структура геоэлектрических разрезов кардинально меняется. Возникает гальваническая связь коровых и осадочных проводящих формаций. Коровые аномалии приобретают ярко выраженный “листрический” вид – их восточные кромки под западными бортами авлакогенов круто (практически вертикально) погружаются с глубин ~3 км, но далее выполаживаются на глубинах 20-45 км в западном направлении, простираясь латерально более чем на 150 км. Таким образом, можно выделить две границы меридиональной перестройки глубинной геоэлектрической структуры в данной части Фенноскандии – южнее профиля NZ (~55.5°с.ш.) и между профилями SVR и PA (~56.5°с.ш.).

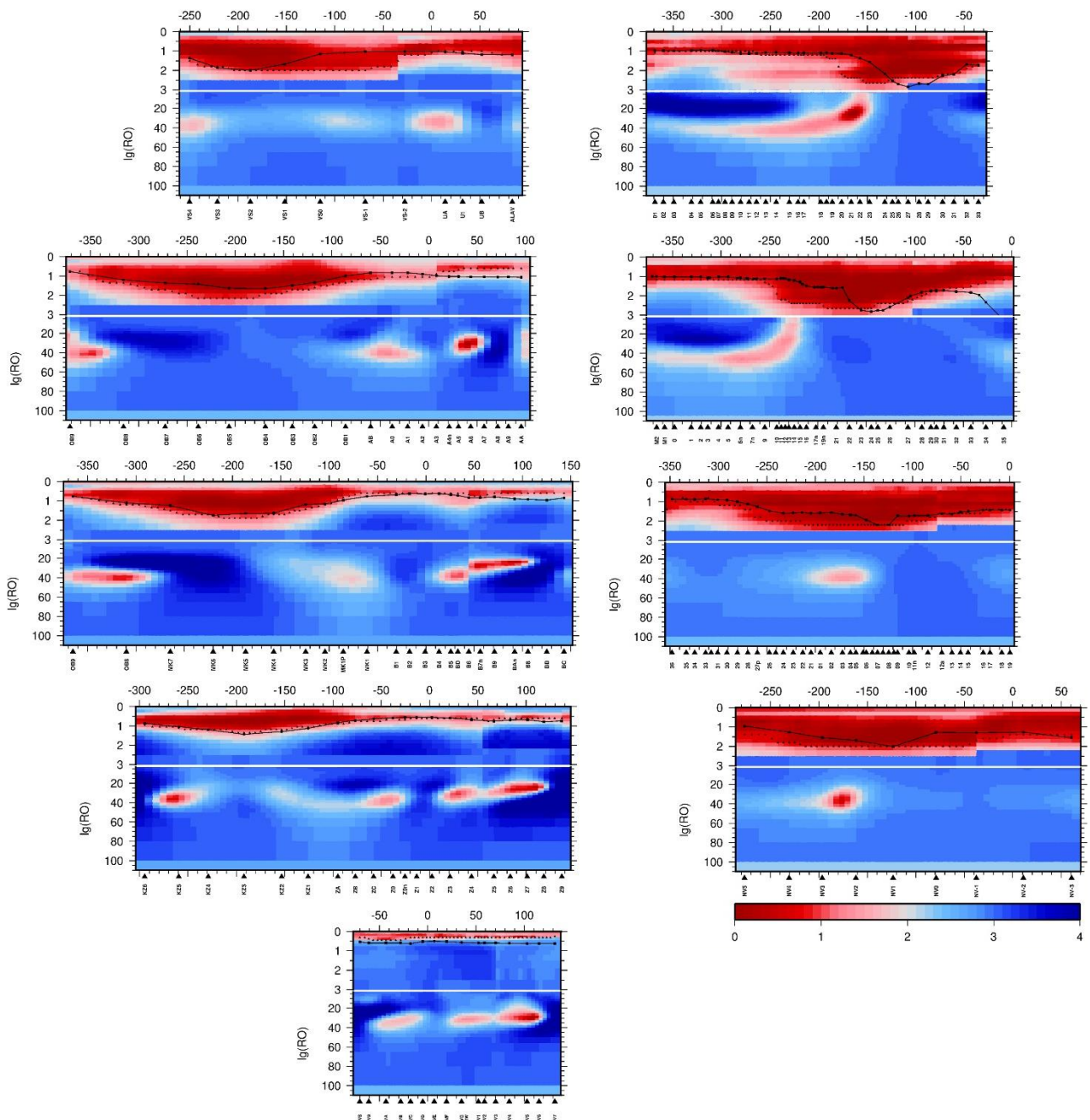


Рис. 3. Глубинные геоэлектрические разрезы (Ом·м, lg-шкала) по результатам совместной 2D инверсии МТ/МВ данных на широтных профилях массива зондирований SMOLENSK (рис. 1): слева – южные профили, сверху вниз – VY, OB, MK, KZ, BR; справа – северные, сверху вниз – OO, PA, SVR, NZ; запад – слева, восток – справа, профильные координаты и глубина – в км, начало координат – на меридиане 34°с.ш., альтитуда земной поверхности – нулевая; сплошные линии – априорные мощности осадков, треугольники – эффективные модельные мощности.

“Листрические” коровые аномалии на профилях PA и OO заслуживают дальнейшего изучения – как северной площадной локализации, так и геологического истолкования. Можно предположить их связь с выделенной севернее по редким МВ зондированиям Ильменской аномалией электропроводности [15]. В 2023 г. нами уже выполнен профиль синхронных МТ/МВ зондирований Псков – Валдай (рис. 1, 2), приближающийся к южному берегу оз. Ильмень. В 2024 г. планируются аналогичные зондирования на профилях GV и SV, охватывающих это озеро с юга и севера (рис. 1). Рассчитываем, что интерпретация новых данных

позволит лучше представить геоэлектрическую структуру СЗ части региона исследований проекта SMOLENSK и согласовать ее с результатами проектов LADOGA [5] и BEAR [13].

Представленные исследования в ЦГЭМИ ИФЗ РАН выполняются в 2022-24 г. в рамках госзадания № FMWU-2022-0023. Авторы благодарны белорусским коллегам из Институтов Геологии и Природопользования (Минск, Белоруссия) и ООО “Северо-Запад” (Москва) за всестороннюю помощь в проведении полевых исследований.

Литература.

1. Варенцов Ив.М., Иванов П.В., Ионичева А.П. и др. Массив МТ зондирований SMOLENSK: изучение глубинной структуры области тройного сочленения крупнейших сегментов Восточно-Европейской платформы // Геофизика. — 2021. — № 1. — С. 46-56.
2. Куликов В.А., Варенцов Ив.М., Иванов П.В. и др. Результаты глубинных МТ исследований в районе Слободского геодинамического узла (Восточно-Европейская платформа) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. — 2023. — Т. 4 (60). — С. 5-21.
3. Варенцов Ив.М., Ковачикова С., Куликов В.А. и др. Синхронные МТ и МВ зондирования на западном склоне Воронежского массива // Геофиз. журн. — 2012. — Т. 34(4). — С. 90-107.
4. Варенцов Ив.М., Гордиенко В.В., Гордиенко И.В. и др. Склон Воронежского кристаллического массива (геофизика, глубинные процессы). — Киев: Логос, 2013. — 118 с.
5. Ионичева А.П. Трехмерная геоэлектрическая модель Южного Приладожья по МТ данным // Дис. на соискание уч. степени к.г.-м.н. — М.: МГУ, 2022. — 131 с.
6. Колодяжный С.Ю. Долгоживущие структурные ансамбли Восточно-Европейской платформы. Статья 2. Структура поверхности фундамента // Изв. ВУЗ. Геология и разведка. — 2018. — № 3. — С. 5-14.
7. Милановский Е.Е (ред.). Тектоническая карта России, сопредельных территорий и акваторий. Масштаб 1: 4000000. — М.: МГУ, 2006.
8. Иванов П.В., Варенцов Ив.М., Колодяжный С.Ю. и др. Исследование глубинной электропроводности в окрестности Оршанской впадины: 2D инверсия синтетических и наблюдаемых МТ данных методом РЕВОСС // Физика Земли. — 2022. — № 5. — С. 26-44.
9. Варенцов Ив.М. Общий подход к решению обратных задач магнитотеллурики в кусочно-непрерывных средах // Физика Земли. — 2002. — № 11. — С. 11-33.
10. Varentsov Iv.M. Methods of joint robust inversion in MT and MV studies with application to synthetic datasets // EM sounding of the Earth's interior: theory, modeling, practice. — Amsterdam: Elsevier, 2015. — P. 191-229.
11. Varentsov Iv.M. Arrays of simultaneous EM soundings: design, data processing, analysis, and inversion // EM sounding of the Earth's Interior: theory, modeling, practice. — Amsterdam: Elsevier, 2015. — P. 271-299.
12. Caldwell G.T., Bibby H.M., Brown C. The magnetotelluric phase tensor // Geophys. J. Int. — 2004. — V. 158(2). — P. 457-469.
13. Varentsov Iv.M., Engels. M., Korja T. et al. A generalized geoelectric model of Fennoscandia: a challenging database for long-period 3D modelling studies within the Baltic EM Array Research (BEAR) project // Izv., Phys. Solid Earth. — 2002. — V. 38(10). — P. 855-896.
14. Гарецкий Р.Г., Каратаев Г.И. Шовные зоны Фенноскандии, Сарматии и Волго-Уралии. — Минск: Беларуская навука, 2014. — 120 с.
15. Рокитянский И.И., Кулик С.Н., Логвинов И.М. и др. Аномалии геомагнитных вариаций на СЗ европейской части СССР // Физика Земли. — 1982. — № 11. — С. 101-106.