

И. М. Логвинов

Карта суммарной продольной проводимости осадочного чехла Днепровско-Донецкой впадины и Донбасса

(Представлено академиком НАН Украины В. И. Старостенко)

На основании 1D и 2D интерпретации данных магнитотеллурических исследований приблизительно в 260 пунктах удалось построить карту суммарной продольной проводимости поверхностных отложений Днепровско-Донецкой впадины и Донбасса. Построенная карта была согласована с аналогичными по территории Припятского прогиба, Украинского щита и Воронежского массива. Карта дает возможность оценивать литологическую характеристику и сопротивление отдельных комплексов осадочного чехла.

Ключевые слова: суммарная продольная проводимость, Днепровско-Донецкая впадина, Донбасс.

Днепровско-Донецкая впадина (ДДВ) и Донбасс представляют интерес для геологов и геофизиков в связи со значительными запасами нефти, газа, угля и многих других полезных ископаемых. Результаты геолого-геофизических исследований на указанных территориях обобщены во многих монографиях.

Суммарная продольная проводимость осадочных отложений (S_{oc}) отражает структурно-тектонические особенности геологического разреза осадочного чехла. Учет S_{oc} является важным моментом при проведении двумерного и трехмерного моделирования геоэлектрических данных, а также оценки влияния геоэлектрических параметров поверхностных отложений на результаты индукционных зондирований. Производственными организациями Украины для исследуемой территории в конце 20 в. были построены карты суммарной продольной проводимости осадочных отложений западной части ДДВ и Донбасса, приведенные в работах [1, 2]. Эти карты, по мнению авторов, построены на основании результатов данных каротажа, методов искусственных электрических полей и региональных магнитотеллурических зондирований (РМТЗ).

В дальнейшем была построена карта S_{oc} Днепровской впадины на основании результатов двумерного (2D) моделирования (прямая задача) данных РМТЗ и магнитовариационного профилирования [3]. При построении моделей вдоль профилей использовались геологические разрезы, приведенные в [4].

В последнее десятилетие на территории ДДВ и Донбасса сотрудниками Института геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины были выполнены наблюдения современными цифровыми магнитотеллурическими станциями. По полученным амплитудно-фазовым характеристикам магнитотеллурических и магнитовариационных параметров в диапазоне периодов от 1–10 с до 10000 с была проведена 2D инверсия и 1D инверсия для анизотропной слоистой среды [5]. Результаты инверсий подтвердили основные особенности геоэлектрической модели осадков ДДВ, приведенные автором [3].

Цель настоящей работы — построение карты S_{oc} ДДВ и Донбасса с учетом предыдущих данных с добавлением результатов 1D инверсии кривых МТЗ (магнитотеллурического зондирования), расположенных в восточной части ДДВ и Донбассе (рис. 1). Для более

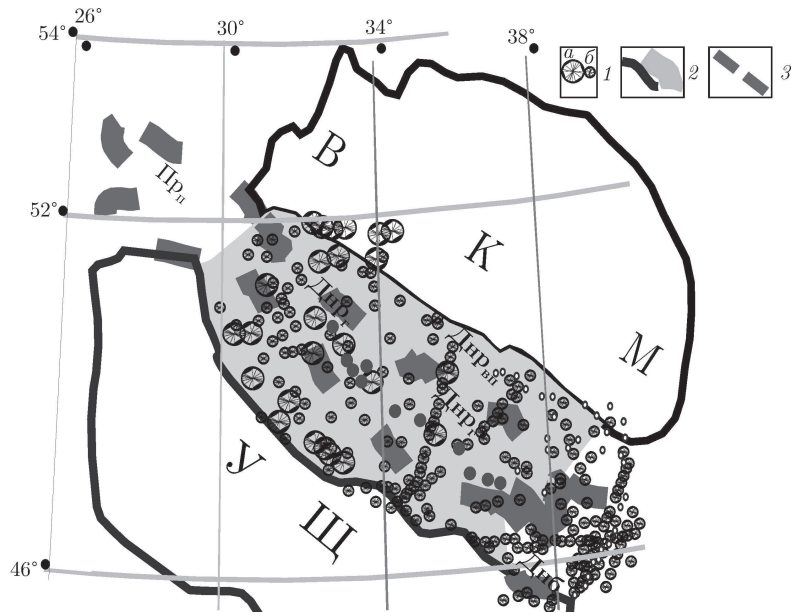


Рис. 1. Схема расположения пунктов наблюдений (1а — ИГФ, 1б — РМТЗ). Границы тектонических структур (2); 3 — Днр_г.

Условные обозначения (здесь и на рис. 3): ВКМ — Воронежский кристаллический массив, УЩ — Украинский щит, Пр_п — Припятский прогиб, Днр_{вп} — Днепро́вская впадина, Днр_г — Днепро́вский грабен, Днб — Донбасс

четкого понимания изменения S_{oc} в пространстве, построенная карта была дополнена данными о продольной проводимости осадочных отложений на территориях, примыкающих к ДДВ и Донбассу.

Одномерная инверсия. Подбор параметров геоэлектрического разреза в восточной части ДДВ и Донбассе основывался в основном на одномерной (1D) инверсии обобщенных кривых зондирования. Для этой цели использовались инверсии OCCAM [6] и D + + алгоритм [7]. Методика применения 1D инверсии детально описана в монографии [5]. Выбор в качестве инструмента исследований 1D инверсии обусловлен неравномерностью сети пунктов наблюдений. Максимальная плотность достигает 100 км² на 1 пункт наблюдений.

Были проанализированы кривые МТЗ приблизительно в 130 пунктах наблюдений, приведенные в работах производственных организаций, выполненных под руководством А. И. Ингерова [1, 2, 8] и сотрудников ИГФ им. С. И. Субботина НАН Украины [5, 9]. Во всех случаях для интерпретации использовались только те данные МТЗ, фазовые кривые которых (в пределах погрешности измерений фаз) стыковались с опорной кривой магнитовариационного зондирования (в качестве которой были взяты данные по геомагнитной обсерватории “Киев”).

Технология построения карты. Основные этапы технологии построения карты S_{oc} следующие:

1. Сформирован массив данных $S_i(\lambda, \phi)$, определенных по 1D и 2D инверсии (S_i — суммарная продольная проводимость осадков в i -м пункте наблюдений; λ и ϕ — долгота и широта пункта наблюдений). Учитывались все значения S_i без предварительного прореживания.

2. Значения $S_i(\lambda, \phi)$ были преобразованы в логарифмические значения ($\lg S_i$), что обусловлено значительной контрастностью значений $S_i(\lambda, \phi)$, которые изменяются от 0,1 См на УЩ до более 3000 См в центре ДДВ.

3. С помощью пакета MapInfo значения $\lg S_i$ были проинтерполированы и проведены изолинии с шагом, равным $\lg 2$ (что соответствует плотности сети пунктов наблюдений в различных частях территории и дискретности модельных построений).

4. Рисовка изолиний корректировалась таким образом, чтобы подавить мелкие особенности поля.

5. Согласование полученной карты с картами S_{oc} прилегающих территорий: для Припятского прогиба, по данным Г. Н. Довгаля, Ю. Н. Стадника, Ю. Н. Кузнецова, В. Н. Астапенко [10], Воронежского кристаллического массива, по данным Ив. М. Варенцова [11], Украинского щита, по [1], Днепровской впадины, по [3].

Анализ карты S . Схематично, с учетом литературных данных [1, 12, 13] и результатов моделирования [3], геоэлектрический разрез ДДВ и Донбасса можно представить в виде пятислойного. *Первый* — мощностью (редко превышающей) 100 м имеет удельное электрическое сопротивление (ρ), сильно изменяющееся по площади. Основная особенность слоя в том, что его ρ в большинстве различных частей ДДВ меньше нижележащего слоя. *Второй* — с $\rho = 10\text{--}50$ Ом · м распространен почти повсеместно на всей территории ДДВ, хотя его мощность меняется от 100 м до 400–500 м. Наибольшие мощности слоя чаще отмечаются в северной части ДДВ до меридиана Миргорода. *Третий* (наиболее проводящий) — распространен на всей территории Днепровского грабена, части склонов ДДВ и Донбассе. Породы этого слоя имеют ρ от 1–1,5 до 5 Ом · м. *Четвертый* (каменноугольные отложения) — на большей части Днепровского грабена $\rho = 20$ Ом · м, а *пятый* (девонские отложения) — $\rho = 50$ Ом · м. Сопротивления последних двух слоев нельзя считать истинными, они отражают резкое увеличение ρ осадочных пород, залегающих ниже третьего слоя.

Учитывая плотность экспериментальных данных, карта соответствует масштабу 1 : 5 000 000. В целом, приведенную карту S можно рассматривать как карту рельефа поверхности кристаллического фундамента, породы которого по удельным электрическим сопротивлениям во много раз превосходят ρ осадочных пород. В этом случае карту S можно считать соответствующей всей мощности осадков (S_{oc}).

Вместе с тем результаты двумерного моделирования на профилях, пересекающих ДДВ и Донбасс [2, 3, 5, 14], показали, что в породах четвертого и пятого слоев в Днепровском грабене и Донбассе встречаются локальные объекты пониженного сопротивления. Их проводимость зачастую превосходит S вышележащих осадков. Кроме того, на значения S существенное влияние оказывает различный литолого-стратиграфический состав отдельных слоев пород осадочного чехла, который необходимо учитывать при сравнении разных частей региона.

Подтверждением сказанному может служить сопоставление карты мощности пород, определяющих значения S построенной карты, с глубиной залегания подошвы перми [4] (рис. 2). Значения S в северо-западной части ДДВ соответствуют мощности пород всей осадочной толщи (вблизи от Лоевско-Брагинской седловины) и вплоть до среднего отдела карбона (приблизительно до меридиана Прилук). Далее на юго-восток мощность слоя в основном не превышает мощности мезокайнозойских осадков. Значения продольного сопротивления толщи пород, которой соответствуют значения S построенной карты, составляет 1–2 Ом · м. Анализ результатов электрического каротажа по скважинам, расположенным в различных частях ДДВ и пересекающих осадочные отложения вплоть до девонских

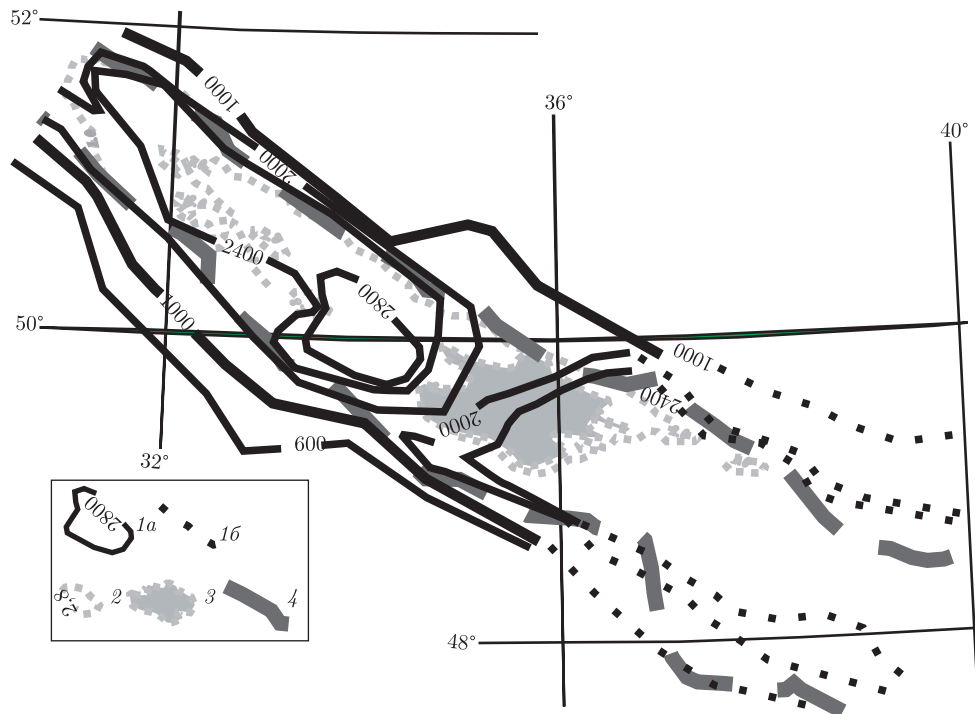


Рис. 2. Схема мощности (в м) хорошо проводящего слоя в верхах осадочного чехла ДДВ (1а) и Донбасса (1б); 2 — изогипсы поверхности подошвы пермских отложений, км; 3 — область распространения соляных штоков; 4 — бортовые разломы Днепровского грабена

(глубиной более 3 км), показывает хорошее согласие с полученным результатом. Толща мезокайнозойских пород, в которой преобладают глинистые породы (глины, аргиллиты и т. п.), по данным каротажа имеет значения ρ , не превышающие 3 Ом·м. Там, где глинистые породы встречаются в разрезе верхнекарбонных отложений (в пределах Днепровского грабена восточнее меридиана Полтавы), значения ρ (4–10 Ом·м) также понижены по сравнению с нижележащими породами. Аналогичный результат характерен и для территории Донбасса [12, 13].

Таким образом, для Днепровского грабена и Днепровской впадины представленная на рис. 3 карта S не отражает проводимость всей осадочной толщи. Учитывая приведенные доводы, логичнее назвать построенную карту — картой суммарной продольной проводимости поверхностных отложений ($S_{\text{пов}}$).

Величины S осадочного чехла при переходе от выступов кристаллического фундамента к ДДВ изменяются от 10–40 См на краях УЩ и ВКМ до 1000–2500 См в Днепровском грабене (см. рис. 3). Пестрота литологического состава пород и малая плотность пунктов наблюдений затрудняют корректность соотнесения представленных на карте значений S в переходной зоне от ДДВ к Донбассу тому или иному возрасту пород.

Таким образом, результатом данной работы является впервые составленная карта суммарной продольной проводимости поверхностных отложений северо-западной части Дно-Днепровской трансрегиональной зоны (включающих Припятский прогиб, Днепровскую впадину и Донбасс), расположенных на территориях Украины и Беларуси. Эффективность карты $S_{\text{ос}}$ заключается не только в том, чтобы фиксировать структурно-тектонические осо-

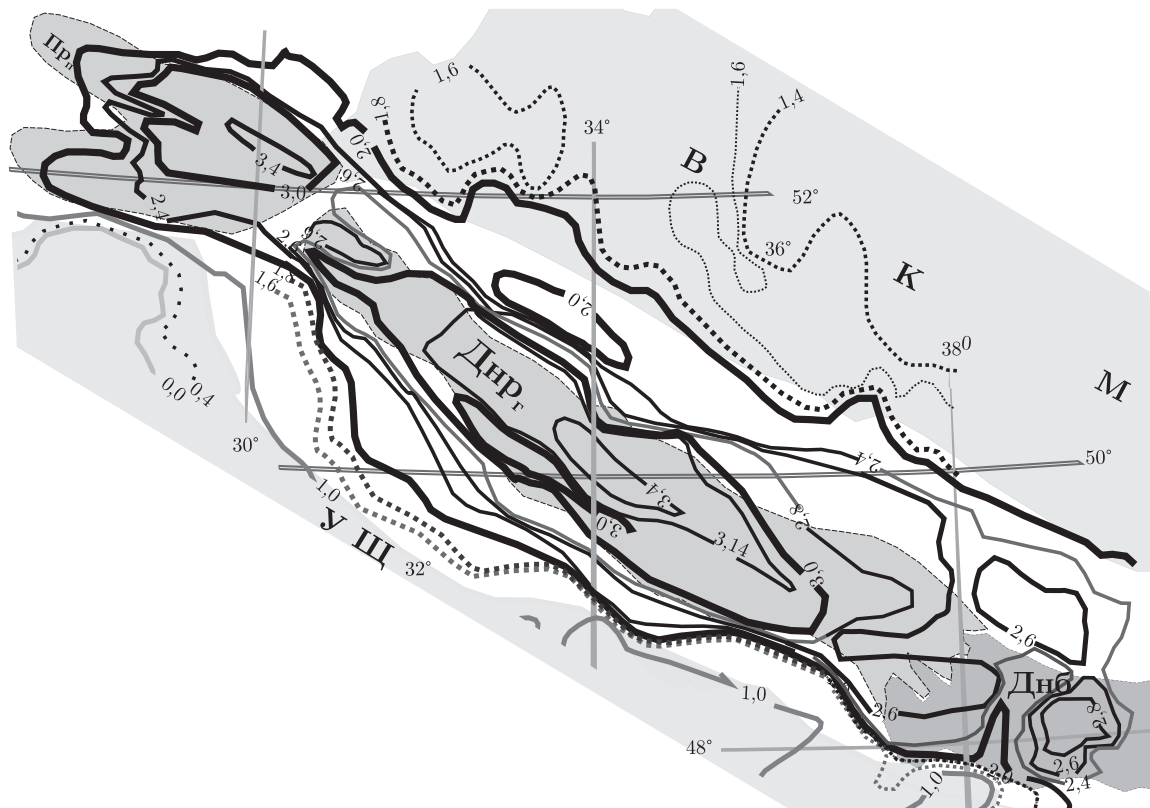


Рис. 3. Карта суммарной продольной проводимости поверхностного слоя (значения $\lg S_{oc}$, см) Днепровско-Донецкой впадины, Донбасса и примыкающих территорий

бенности разреза, а дает возможность оценивать литологическую характеристику и сопротивление отдельных комплексов осадочного чехла и фундамента.

Цитированная литература

1. Ингеров А. И., Бугримов Л. П., Рокитянский И. И., Колдунов А. А. Результаты региональных исследований МТЗ по изучению глубинного строения юго-восточной Украины. – Киев: Геоинформ, 1987. – 275 с.
2. Рокитянский И. И., Ингеров А. И., Лысенко Е. С. Новые данные о Донбасской аномалии электропроводности // Геофиз. журн. – 1994. – **16**, № 1. – С. 67–71.
3. Логвинов И. М. Карта суммарной продольной проводимости осадочного чехла Днепровско-Донецкой впадины по результатам двумерного моделирования электромагнитных данных // Физика Земли. – 2002. – № 11. – С. 94–96.
4. Атлас геологического строения и нефтегазоносности Днепровско-Донецкой впадины. – Киев: Мингео УССР, 1984. – 190 с.
5. Гордиенко В. В., Гордиенко И. В., Завгородняя О. В., Ковачикова С., Логвинов И. М., Пек Й., Тарасов В. Н., Усенко О. В. Днепровско-Донецкая впадина (геофизика, глубинные процессы). – Киев: Корвин пресс, 2006. – 144 с.
6. Constable S. C., Parker R. L., Constable C. G. Occam's inversion: a practical algorithm for the inversion of electromagnetic data // Geophysics. – 1987. – **52**. – P. 289–300.
7. Parker R. L., Whaler K. A. Numerical method for establishing solution to the inverse problem of electromagnetic induction // J. Geophys. Res. – 1981. – **86**. – P. 9574–9584.
8. Ингеров А. И., Бугримов Л. П., Рокитянский И. И., Колдунов А. А. Результаты региональных исследований МТЗ вдоль геотравверсов Ужгород-Ворошиловград и Армашат-Ахалцихе с целью изучения глубинного строения земной коры. – Киев: Геоинформ, 1990. – 275 с.

9. *Тарасов В. Н., Логвинов И. М., Гордиенко И. В.* Результаты магнитотеллурических исследований юга Воронежской антеклизы // Доп. НАН України. – 2012. – № 10. – С. 115–118.
10. *Астапенко В. Н.* Земная кора и мантия территории Беларуси по магнитотеллурическим данным. – Минск: Б.и., 2012. – 208 с.
11. *Варенцов Ив. М., Ковачикова С., Куликов В. А., Логвинов И. М., Трегубенко В. И., Яковлев А. Г.* Рабочая группа KIROVOGRAD. Синхронные магнитотеллурические и магнитовариационные зондирования на западном склоне Воронежского массива // Геофиз. журн. – 2012. – **34**, № 4. – С. 90–107.
12. *Гаркаленко И. А.* Районирование Большого Донбасса по физическим свойствам // Геофиз. сб. АН УССР. – 1988. – Вып. 24. – С. 51–60.
13. *Гречухин В. В., Воевода Б. И., Дараган В. Н., Савченко А. В., Иванов Л. А.* Петрофизические исследования угленосных отложений Донецкого бассейна // Совет. геология, 1985. – № 11. – С. 89–101.
14. *Логвинов И. М., Лысенко Е. С.* Геоэлектрическая модель тектоносферы вдоль геотраверса Приморск-Сватово // Доп. НАН України. – 1995. – № 10. – С. 95–97.

References

1. *Ingerov A. I., Bugrimov L. P., Rokityanskiy I. I., Koldunov A. A.* Results of the regional investigations of the MTS for the study of deep structure southeast Ukrainian, Kiev: Geoinform, 1987 (in Russian).
2. *Rokityanskiy I. I., Ingerov A. I., Lysenko E. S.* Geophys. J., 1994, **16**, No 1: 67–71 (in Russian).
3. *Logvinov I. M.* Phys. Earth, 2002, No 11: 94–96 (in Russian).
4. *Atlas of the geological structure and oil and gas Dnieper-Donets depression*, Kiev: Ministry of Geology of the USSR, 1984 (in Russian).
5. *Gordienko V. V., Gordienko I. V., Zavgorodnyaya O. V., Kovachikova S., Logvinov I. M., Tarasov V. N., Usenko O. V.* Dnieper-Donets depression (geophysics, deep processes), Kiev: Korvin press, 2005 (in Russian).
6. *Constable S. C., Parker R. L., Constable C. G.* Geophysics, 1987, **52**: 289–300.
7. *Parker R. L., Whaler K. A. J.* Geophys. Res., 1981, **86**: 9574–9584.
8. *Ingerov A. I., Bugrimov L. P., Rokityanskiy I. I., Koldunov A. A.* Regional research results MTS along geotraverses Uzhgorod-Voroshilovograd and Armashat-Akhhaltsikhe to study the deep crustal structure, Kiev: Geoinform, 1990 (in Russian).
9. *Tarasov V. N., Logvinov I. M., Gordienko I. V.* Dopov. NAN Ukraine, 2012, No 10: 115–118 (in Russian).
10. *Astapenko V. N.* The Earth's crust and mantle in Belarus on magnetotelluric data, Minsk, 2012 (in Russian).
11. *Varentsov Yv. M., Kovachikova S., Kulikov V. A., Logvinov I. M., Tregubenko V. I., Yakovlev A. G.* Geophys. J., 2012, **16**, No 1: 67–71 (in Russian).
12. *Garkalenko I. A.* Geophys. Sb., 1988, No 24: 51–60 (in Russian).
13. *Grechukhin V. V., Governor B. I., Daragan V. N., Savchenko A. V., Ivanov L. A.* Sov. Geology, 1985, No 11: 89–101 (in Russian).
14. *Logvinov I. M., Lysenko E. S.* Dopov. NAN Ukraine, 1995, No 10: 95–97 (in Russian).

*Институт геофизики им. С. И. Субботина
НАН Украины, Киев*

Поступило в редакцию 19.12.2014

І. М. Логвінов

Карта сумарної позовжньої провідності осадочного чохла Дніпровсько-Донецької западини і Донбасу

Інститут геофизики ім. С. І. Субботіна НАН України, Київ

На підставі 1D й 2D інтерпретації даних магнітотелуричних досліджень приблизно в 260 пунктах вдалося побудувати карту сумарної позовжньої провідності поверхневих відкладів Дніпровсько-Донецької западини і Донбасу. Побудовану карту було узгоджено з аналогічними по території Прип'ятського прогину, Українського щита і Воронежського масиву.

Карта дає можливість оцінювати літологічну характеристику та опір окремих комплексів осадового чохла.

Ключові слова: сумарна поздовжня провідність, Дніпровсько-Донецька западина, Донбас.

I. M. Logvinov

Map of the total longitudinal conductivity of the sedimentary cover of the Dnieper-Donets depression and Donbas

S. I. Subbotin Institute of Geophysics of the NAS of Ukraine, Kiev

On the basis of the interpretation of the 1D and 2D data of magnetotelluric investigations at about 260 points, the map of the total longitudinal conductivity of the surface sediments of the Dnieper-Donets depression and Donbas is built. It has been harmonized with that on the territory of the Pripjat Trough, the Ukrainian Shield, and the Voronezh massif. The map allows one to assess the lithological characteristics and the resistance of individual complexes of the sedimentary cover.

Keywords: total longitudinal conductivity, Dnieper-Donets depression, Donbas.