

**ДОКЛАДЫ
АКАДЕМИИ НАУК СССР**

1985

ТОМ 285 № 1

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

М.С. ЖДАНОВ, М.Н. БЕРДИЧЕВСКИЙ, Л.М. АБРАМОВА, А.И. БИЛИНСКИЙ,
В.Н. БОБРОВ, И.М. ВАРЕНЦОВ, Н.Г. ГОЛУБЕВ, В.В. ГОРДИЕНКО,
О.Н. ЖДАНОВА, С.Н. КУЛИК, Э.Б. ФАЙНБЕРГ, В.С. ШНЕЕР

ГЛУБИННЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
В СОВЕТСКИХ КАРПАТАХ

(Представлено академиком Е.П. Велиховым 25 XII 1984)

1. При построении комплексной геофизической модели строения литосферы важно учитывать геоэлектрические данные. Традиционно основным геоэлектрическим методом, используемым при глубинных построениях, является метод магнитотеллурических зондирований (МТЗ): Однако исследования последних лет показали, что результаты отдельных магнитотеллурических зондирований далеко не всегда могут дать адекватную информацию о распределении электропроводности с глубиной. Кривые МТЗ, как правило, существенно искажены за счет влияния горизонтальных геоэлектрических неоднородностей, поэтому их формальная интерпретация может привести к появлению ложных геологических структур. Именно такая ситуация существует в Карпатском регионе, где наблюдается одна из наиболее значительных геоэлектрических аномалий. Естественный способ избавиться от неоднозначности интерпретации данных МТЗ заключается в комплексировании МТЗ с магнитовариационным профилированием (МВП) и, в конечном счете, в применении единого метода глубинных электромагнитных (ЭМ) зондирований, заключающегося в проведении синхронных наблюдений вариаций электрического и магнитного поля в широком диапазоне частот вдоль некоторых профилей или по площади. В результате таких наблюдений мы получаем пространственно-временную картину распределения ЭМ-поля на поверхности Земли, по которой уже можно восстановить закономерности изменения электропроводности как по вертикали, так и в горизонтальных направлениях. При этом, однако, требуются совсем иные подходы к интерпретации, нежели в классическом методе МТЗ. Эти новые подходы [1] во многом аналогичны методам, применяемым в гравиметрии и магнитометрии, и могут рассматриваться как некоторое обобщение приемов интерпретации геопотенциальных полей на ЭМ-случай. В последние годы в ИЗМИРАН создан комплекс алгоритмов и программ, реализующих эти новые методы интерпретации [1-4]. В настоящей работе с помощью развитого аппарата интерпретации глубинных ЭМ-зондирований строится геоэлектрическая модель земной коры и верхней мантии вдоль II международного геотраверса КАПГ* в переходной зоне между Восточно-Европейской платформой и альпийской областью Карпат и Паннонского бассейна.

2. Карпатская ЭМ-аномалия. Карпатский регион давно привлекает внимание геоэлектриков. Первые исследования в Западных Карпатах выявили резко аномальный характер естественного ЭМ-поля Земли. Эта аномалия связывалась с эффектом концентрации токов в области с повышенной электропроводностью. Последующие магнитовариационные и магнитотеллурические наблюдения (см. библиографию в [5-8]), позволили проследить аномалию электропроводности почти на всем протяжении Складчатых Карпат. Весьма детально изучены Советские

* Комиссия по планетарной геофизике академий наук социалистических стран.

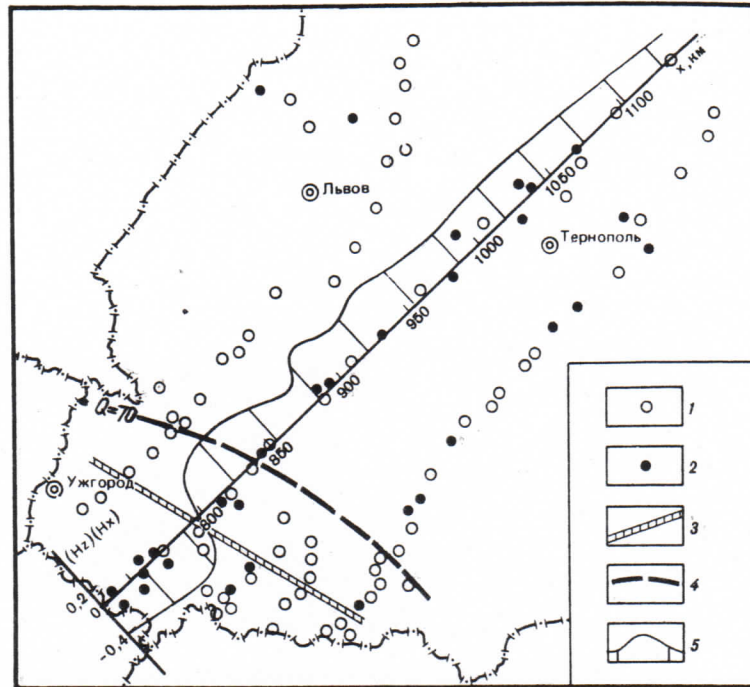


Рис. 1. Геоэлектрические исследования в Советских Карпатах; 1 – пункты наблюдения МТЗ; 2 – пункты наблюдения MVP; 3 – ось геомагнитной аномалии, приуроченной к проводящей коровой неоднородности; 4 – тепловой поток, изолинии (мВт/м²); 5 – значения по профилю H_z/H_x

Карпаты, Закарпатье и прилегающая часть Восточно-Европейской платформы, где на нескольких профилях вдоль II геотраверса КАПГ выполнено более 60 пунктов MVP и до 20 пунктов МТЗ (рис. 1).

Интерпретации профильных геомагнитных данных позволили локализовать аномалию электропроводности на стыке Закарпатского прогиба и Складчатых Карпат и сделать предварительные оценки ее важнейших параметров [5–7]. Наиболее подробно геомагнитная аномалия в Советских Карпатах исследовалась в работах М.С. Жданова, И.М. Варенцова и др. [1, 8] с помощью методов разделения и аналитического продолжения переменных геомагнитных полей в модели, включающей реальное распределение приповерхностной электропроводности, подстилаемое однородным полупространством ($\sigma = 10^{-3}$ См/м). Была подтверждена глубинная природа аномалии ($H_{кор} = 10$ км) и далее с помощью формализованной процедуры подбора геоэлектрической модели методом стягивающихся поверхностей [1, 2, 8] определена структура проводящего включения в виде изометричного тела с электропроводностью $\sigma_{кор} = 1$ См/м и интегральной электропроводностью $\Sigma_{кор} = \iint \sigma dQ = 0,7 \cdot 10^8$ См/м.

Следует подчеркнуть, что основным объектом выполненных интерпретаций являлась коровая аномалия электропроводности. Значительно меньшее внимание уделялось анализу параметров вмещающей среды (нормального разреза), в частности, ее глубинному строению. В то же время значительные различия геотермических режимов Восточно-Европейской платформы и Паннонского бассейна [6, 9–11] допускали возможность существенной неоднородности глубинного нормального разреза. В связи с этим в работе [9] эффект крайне медленного затухания верти-

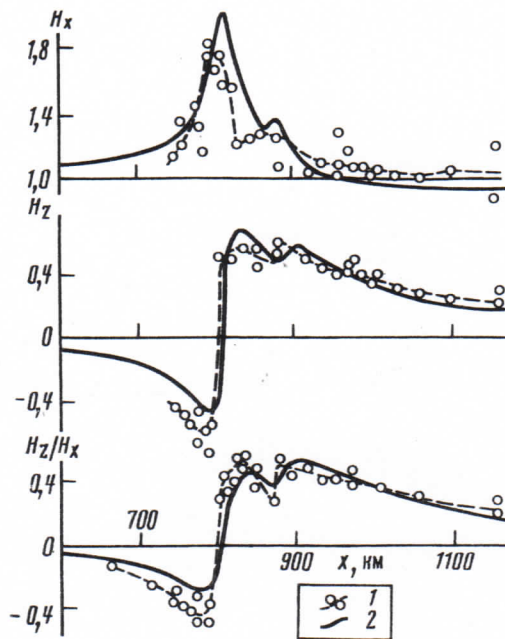


Рис. 2. Геомагнитные данные вдоль II геотраверса КАПГ: 1 – наблюдаемые, 2 – смоделированные

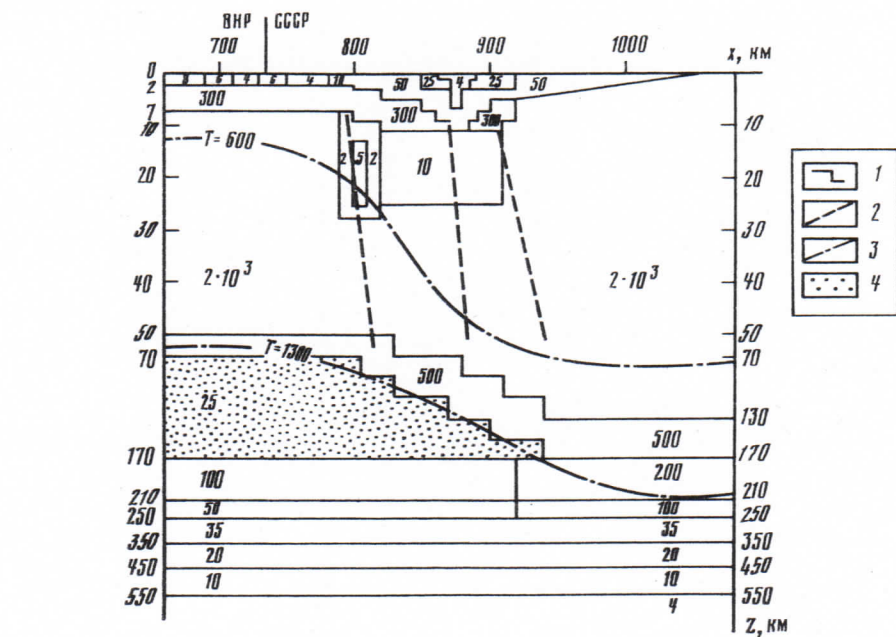


Рис. 3. Геоэлектрическая модель Карпатской части II геотраверса КАПГ; 1 – геоэлектрические границы и значения сопротивления блоков (Ом·м); 2 – глубинные разломы; 3 – изотермы; 4 – проводящая астеносфера

кальной составляющей Карпатской геомагнитной аномалии на Западном склоне Украинского щита (УЩ) объясняется наличием выклинивающегося (в сторону щита) астеносферного слоя повышенной электропроводности с параметрами, типичными для Паннонского бассейна [6, 9]. Первые двумерные модели, учитывающие неоднородную геоэлектрическую структуру астеносферы вдоль II геотраверса, построены А. Адамом и М. Татрайей [12].

3. Новый подход к интерпретации глубинных ЭМ-зондирований в Советских Карпатах. Накопленные экспериментальные ЭМ-данные, сведения о геоэлектрическом строении осадочного чехла, оценки параметров коровой аномалии, представления о стандартных геоэлектрических разрезах платформенных и геосинклинальных областей, материалы ГСЗ, геотермические модели и, наконец, общие концепции геологического строения и истории развития Карпатского региона позволили приступить к существенной детализации геоэлектрической модели Советских Карпат с помощью мощного комплекса методов решения двумерных прямых и обратных задач геоэлектрики, разработанного в последние годы в ИЗМИРАН [1–4].

Для повышения информативности экспериментальных данных, с учетом высокой степени двумерности геомагнитного поля и геоэлектрической структуры в Советских Карпатах, осуществлена проекция на направление П геотраверса КАПГ всех магнитовариационных наблюдений, выполненных в его окрестности на удалении до 50 км (рис. 1). При этом использованы данные, полученные в 70-е годы [5], а также материалы последних экспедиций ИЗМИРАН. В результате амплитуды синхронных значений вертикальной H_z и горизонтальной H_x составляющих геомагнитного поля для периода вариаций в окрестности 1 ч были построены для 30 точек, а отношения H_z/H_x — для 40 точек (рис. 2). Такой подход к построению обобщенной модели профильных геомагнитных данных позволил оценить погрешности наблюдений и ошибки, связанные с трехмерностью нормального поля и геоэлектрической среды. За исключением отдельных пунктов суммарная относительная погрешность данных лежит в пределах 20%.

4. Глубинная геоэлектрическая модель. Результатом интерпретации ЭМ-данных явилось построение детальных и обоснованных моделей геоэлектрического разреза нижней части земной коры и верхней мантии. Для этого сделан анализ материалов глубинных МТЗ и геотермических данных для УЩ [3, 9, 10, 13] и Паннонского бассейна [5, 12, 14]. В качестве глубинной геотермической модели использованы построения В.В. Гордиенко [9, 10]. Величина теплового потока на геотраверсе изменяется в пределах 35–45 (мВт/м²) на западном склоне УЩ, а затем резко возрастает в области Предкарпатского прогиба и Складчатых Карпат, достигая 80–90 в Закарпатье и 100 в Паннонском бассейне. Фоновый тепловой поток (радиогенный) практически не меняется в данной области (40–45 мВт/м²) [9]. Таким образом, отчетливо видна аномалия теплового потока в Карпатской геосинклинали, достигающая 50 мВт/м² в Паннонском бассейне. Интерпретация данной аномалии проведена в предположении, что ее природа связана с эффектом остывания вещества, дискретно поступающего в подкоровое пространство в соответствии с полиморфно-адвекционной гипотезой [10]. В пределах Карпатской геосинклинали выделена выклинивающаяся к востоку зона частичного плавления пород верхней мантии в диапазоне глубин от 70–80 до 200–220 км. Локально может быть развита и коровая зона частичного плавления в области распространения пород амфиболитовой стадии метаморфизма в пределах шовного сочленения Складчатых Карпат и Закарпатского прогиба.

В соответствии с проведенными геотермическими исследованиями на основе уточненных одномерных нормальных разрезов УЩ и Паннонского бассейна и последних данных о электропроводности осадочного чехла [14] построена геоэлектрическая модель (рис. 3). Особенностью глубинной структуры модели является наличие проводящей астеносферы ($S_{аст} = 4000$ См) в диапазоне глубин 70–170 км под Паннонским бассейном и в Закарпатье и ее отсутствие на платформе (рис. 3). Описанная модель позволила достаточно точно приблизить наблюдаемые геомагнитные поля на западном склоне УЩ.

5. Коровая аномалия электропроводности. Уточнение структуры коровой проводящей зоны на фоне построенной глубинной модели осуществлялось путем формализованного подбора распределений аномальной электропроводности методом финитных функций [4] в двух прямоугольных областях в диапазоне глубин 10–25 км и позволило добиться удовлетворительного совпадения наблюдаемых и расчетных полей в Складчатых Карпатах и Закарпатье (рис. 2). Невязки подбора имели величину порядка 15–20% и соответствовали среднему уровню погрешностей исходных данных.

Итоговая модель коровой неоднородности содержит резко проводящую ($\sigma_{\text{кор}} = 2 \text{ См/м}$) вставку размером $10 \times 12 \text{ км}$ на глубине $H_{\text{кор}} = 13 \text{ км}$, окруженную переходной областью ($\sigma = 0,5 \text{ См/м}$) с горизонтальной мощностью порядка 10 км , а также область умеренной электропроводности ($\sigma = 0,1 \text{ См/м}$) размером $90 \times 14 \text{ км}$ под Складчатыми Карпатами (рис. 3). Интегральная электропроводность коровой неоднородности $\Sigma_{\text{кор}}$ составляет примерно $5 \cdot 10^8 \text{ См} \cdot \text{м}$. Общий характер кривых кажущегося сопротивления, рассчитанных в модели, соответствует кривым, построенным по наблюдениям на склоне УЩ в окрестности оси геоманнитной аномалии и в Паннонском бассейне.

6. Исследования позволили построить геоэлектрическую модель, удовлетворительно описывающую наблюдаемые аномалии геоэлектромагнитного поля и согласующуюся с комплексом имеющихся геолого-геофизических данных. Подтверждена гипотеза о выклинивании под Складчатыми Карпатами проводящего астеносферного слоя, развитого в Паннонском бассейне. Уточнено местоположение и структура коровой аномалии электропроводности. В то же время стало ясно, что для более детального изучения структуры проводящей астеносферы требуется существенное расширение и уточнение интерпретируемых электромагнитных данных, в частности, получение многопериодных массивов синхронных магнитовариационных наблюдений и надежных кривых глубинных МТЗ, а также привлечение средств трехмерной интерпретации.

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн Академии наук СССР
Троицк Московской области

Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова

Институт прикладных проблем механики и математики Академии наук УССР, Львов

Институт геофизики им. С.И. Субботина Академии наук УССР,
Киев

Поступило
5 VI 1985

ЛИТЕРАТУРА

1. Бердичевский М.Н., Жданов М.С. Интерпретация аномалий переменного электромагнитного поля Земли. М.: Недра, 1981.
2. Zhdanov M.S., Varentsov Iv.M. — Geophys. J. Roy. Astron. Soc., 1982, vol. 75, p. 623–638.
3. Жданов М.С., Варенцов И.М., Голубев Н.Г., Спицач В.В. В кн.: Математические методы в геоэлектрике. М., 1982, с. 5–26.
4. Жданов М.С., Голубев Н.Г. В кн.: Алгоритмы и программы решения прямых и обратных задач электромагнитной индукции в Земле. М., 1983, с. 31–47.
5. Бондаренко А.П., Билинский А.И., Седова Ф.И. Электромагнитные вариации в Советских Карпатах. Киев: Наукова думка, 1972. 116 с.
6. Adam A. — Geomagnetism and Geoelectricity, 1980, vol. 32, p. 1–46.
7. Рокитянский И.И. Исследование аномалий электропроводности методом магнитовариационного профилирования. Киев: Наукова думка, 1975. 279 с.
8. Zhdanov M.S., Varentsov Iv.M., Bilinsky A.I. — Acta geodaeft., geophys. et montanist., 1983, vol. 18, p. 165–171.
9. Бурьянов В.Б. и др. Геофиз. сб. АН УССР, 1978, вып. 83, с. 3–16.
10. Бурьянов В.Б., Гордиенко В.В., Кулик С.Н., Логвинов И.М. Комплексное изучение тектоносферы континентов. Киев: Наукова думка, 1984, 176 с.
11. Bodri L. — Tectonophysics, 1981, vol. 72, p. 61–73.
12. Adam A., Tatrallyay M. — Gellands Beitr. Geophysik, Leipzig, 1979, vol. 88, p. 240–248.
13. Adam A. In: Geoelectric and geothermal studies. Budapest: Acad. Kiado, 1976, p. 547–561.
14. Шилова А.М., Санин С.И. Проводимость осадочного чехла Карпатского региона. Препринт № 33 (398). М., 1982, с. 10.