

И. М. Логвинов, И. В. Гордиенко, В. Н. Тарасов

Геоэлектрические исследования на профиле Закарпатье — Волыно-Подолья

(Представлено академиком НАН Украины В. И. Старостенко)

Вперше на території України, що включає Карпатський регіон та прилеглі структури, визначено типери і компоненти тензора імпедансу в діапазоні періодів від 10–20 с до 4900–10800 с у 21 пункті; отримано оцінки головних напрямів геоелектричних структур, що визначають поведінку магнітотелуричного поля, за допомогою різних декомпозицій імпедансу. Результати 1D інверсії кривих магнітотелуричного зондування свідчать про наявність провідного шару в інтервалі глибин 10–20 км, виділеного в Карпатському регіоні та на Волино-Подільській плиті.

Одной из важнейших задач исследований на западе Украины является изучение глубинного геоэлектрического строения земной коры и верхней мантии Карпатского региона, зоны сочленения Западно- и Восточно-Европейских платформ (зоне Тейсейра — Торнквиста — ТТЗ) и юго-западного сегмента ВЕП (рис. 1). В 2002 г. в рамках Международного проекта SEMES, а затем в 2008 г. в полосе профиля, пересекающего Карпатский регион и Волыно-Подольскую плиту (ВПП) сотрудниками ИГФ НАН Украины проведены магнитотелурические (МТ) наблюдения современной цифровой аппаратурой в 11 пунктах (см. рис. 1). Кроме того, в пунктах аналоговых наблюдений предыдущих лет авторами были оцифрованы осциллограммы (и затем обработаны с помощью современных методик), полученные в 4 пунктах в 70-х годах прошлого столетия (при участии авторов) и в 6 пунктах (сотрудниками Карпатского филиала ИГФ НАН Украины, любезно предоставленные нам А. И. Билинским).

Настоящая работа посвящена первым результатам обобщения МТ исследований, проведенных как в 2008 г., так и в прежние годы с целью построения геоэлектрической модели вдоль профиля.

Методика и техника эксперимента. При проведении полевых работ 2008 г. учитывался опыт, накопленный при проведении и анализе данных на предыдущих профилях. Прежде всего, большое внимание было уделено наблюдениям в Закарпатской впадине, так как на выбранном профиле можно изучить Карпатскую аномалию проводимости (Крап) максимально симметрично относительно ее оси. По представлениям ряда геологов, Стрыйский юрский прогиб (СЮП) и Львовско-Люблинский меловой прогиб (рис. 1) контролируют положение зоны ТТЗ, в этой зоне были выполнены наблюдения в 5 пунктах.

В 2008 г. на десяти полевых пунктах получены достаточно качественные записи всех пяти компонент МТ поля общей длиной более 5 сут с явной синхронностью вариаций. При производстве работ мы столкнулись с большими трудностями в зоне Складчатых Карпат, связанными с помехами на электрическое поле, источником которых были региональные трубопроводы (вернее их станции катодной защиты). В связи с небольшими значениями суммарной продольной проводимости (S) осадочных пород в этом районе влияние помех распространялось на значительное расстояние, что привело к сильным искажениям записи.

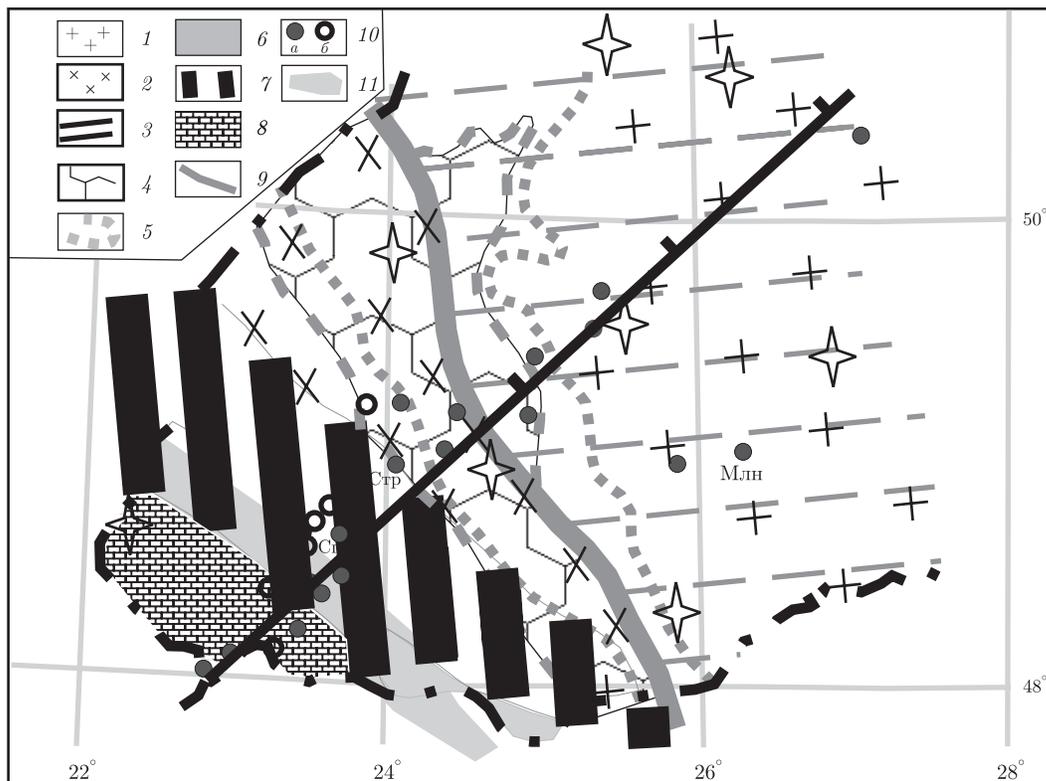


Рис. 1. Тектоническая схема района работ, по [1]. Платформы: 1 — Восточно-Европейская (ВЕП); 2 — Западно-Европейская (ЗЕП); 3 — Вольно-Подольская плита. Структуры зон сочленения ВЕП и ЗЕП: 4 — Стрыйский юрский прогиб; 5 — границы Львовско-Люблинского мелового прогиба; 6 — Мармарошский массив; 7 — Складчатые Карпаты; 8 — фундамент Закарпатского прогиба; 9 — граница ВЕП и ЗЕП; 10 — пункты наблюдений цифровой (а) и аналоговой (б) аппаратурой; 11 — зона смены ориентации типперов (ось Крап).

Пункты глубинных МТЗ: Спл — Синеви́рская Поляна, Стр — Струтин, Млн — Млынки

Обычно для отчистки записей электрических каналов от промышленных помех применяется чрезвычайно кропотливая ручная работа. Для улучшения качества этой процедуры и ее сокращения была разработана подпрограмма полуавтоматического исключения такого рода помех.

Оценки интерпретационных параметров (импеданса и типпера). Обработка полевых данных не отличалась от разработанной нами ранее схемы [2]. В каждом пункте импеданс и магнитовариационные параметры, связанные с вертикальной компонентой (в англоязычной литературе обозначаемых термином *tipper* — типпер), оценивались по одноточечной схеме. На последующем этапе углубленной обработки будут получены дополнительные RR (обработка с использованием удаленной базовой станцией) оценки в полевых пунктах с привлечением в качестве базисных записей вариации МТ поля на геомагнитной обсерватории Львов.

Для всех пунктов наблюдений, указанных выше, на профиле были определены только типперы (на аналоговых станциях не проводились измерения электрического поля). Устойчиво типпер был определен для периодов от 10–20 с до 4900–10800 с. На больших периодах амплитудные оценки типпера неустойчивы или отсутствуют либо из-за недостаточного вре-

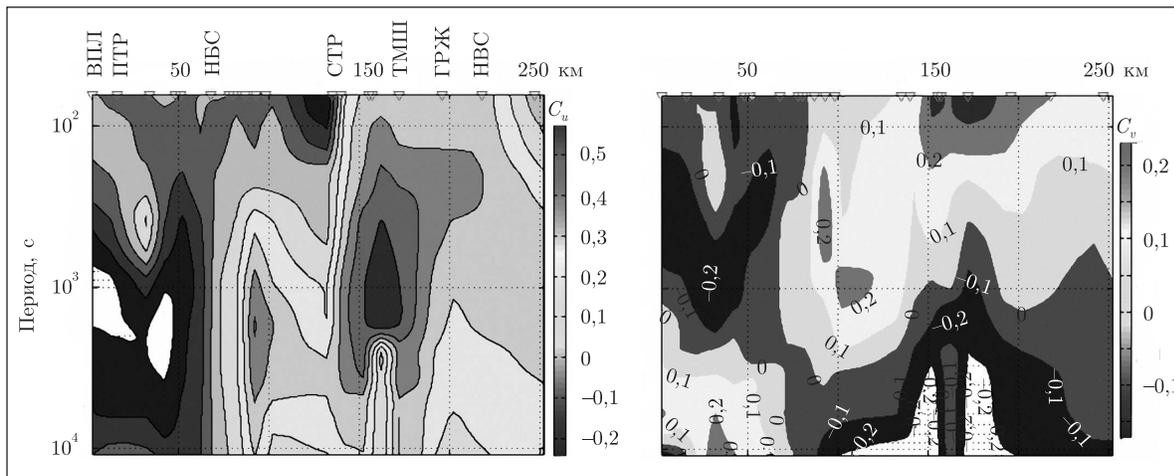


Рис. 2. Псевдоразрезы магнитовариационных параметров вдоль профиля

мени регистрации вариаций, либо в связи с большим вкладом поля внешнего источника вариаций. Значения типперов определены с погрешностью 0,02–0,04 и 3° – 5° (соответственно для модулей и их азимутов).

Длины типперов в указанном диапазоне периодов достигают уровня 0,3–0,35 в юго-западной части профиля и 0,65–0,7 в северо-восточной. Ориентация доминирующих действительных частей типперов в юго-западной части профиля (до с. Долгое) составляет 180 – 220° , а в северо-восточной — 20 – 40° , т. е. практически перпендикулярна простиранию Крап и Предкарпатского прогиба (ПП). В северной части Закарпатского прогиба (ЗПП) ориентация C_u становится близкой к 180° .

На рис. 2 в виде псевдорозреза показана частотная зависимость проекций на линию профиля действительной (C_u) и мнимой (C_v) частей типпера как в пунктах 2008 г., так и прошлых лет. При этом значения C_u и C_v к востоку от линии с азимутом 300 – 120° считались положительными, а к западу — отрицательными. Нулевой пикет профиля расположен в точке пересечения государственных границ Украины, Венгрии и Румынии. Как видно из рисунка, максимум частотной характеристики вдоль всего профиля приходится на интервал периодов 400 – 1600 с, причем в зоне ПП он смещается в область меньших периодов. Четко проявляется Крап, осевая часть которой совпадает с зоной смены знака (район п. НВС). Асимметрия к востоку от оси Крап может быть объяснена взаимодействием Крап и осадочных пород ПП. Отметим, что максимальные значения C_u пространственно протягиваются вплоть до северо-восточной границы СЮП. Интересная особенность поведения C_u и C_v наблюдается в районе п. ТМШ, расположенном в зоне сочленения Западно- и Восточно-Европейских платформ. Для изучения этой особенности необходимо провести наблюдения вдоль зоны.

В результате обработки по методике магнитотеллурического зондирования (МТЗ) были определены все четыре компоненты матрицы импеданса, ее главные направления и оценены параметры неоднородности МТ поля в диапазоне от 20 с до $10\,000$ – $14\,000$ с в трех пунктах — в зоне Крап, переходной от Складчатых Карпат к ПП, на ВПП (рис. 3). Величина параметра трехмерности skew в пунктах Спл и Млн не превышает $0,3$, а в п. Стр превышает это значение (рис. 3). Главное направление матрицы импеданса меняется при передвижении от оси Крап (п. СНП) на восток, что четко видно из определений как азимута

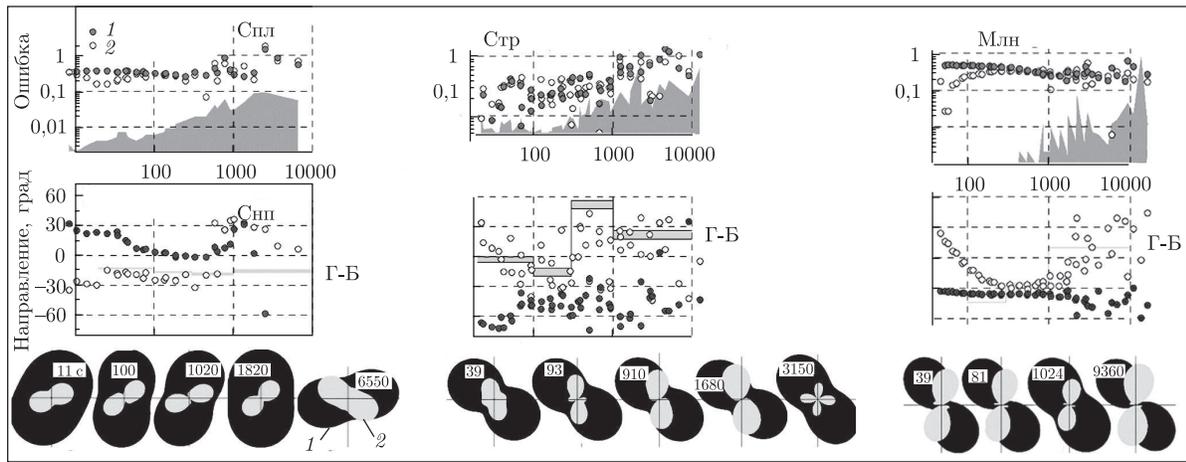


Рис. 3. Погрешности определения импедансов, оценки параметров и главных направлений неоднородности, полярные диаграммы главного (1) и дополнительного (2) импедансов

осей неоднородности (рис. 3), так и полярных диаграмм основного (Z_{xy}) и дополнительного (Z_{xx}) импедансов (рис. 3). Азимуты дополнительного импеданса согласуются с азимутом типперов на пунктах Стр и Млн.

В целом импедансные и магнитовариационные данные свидетельствуют о квазидвумерности геоэлектрической структуры региона (что подтверждается перпендикулярностью направлений S_u и главного направления матрицы импеданса), простирающихся вдоль зоны Крап.

Результаты 1D инверсии кривых МТЗ. Так как к настоящему времени полностью обработаны наблюдения только на трех пунктах, ограничимся одномерной (1D) интерпретацией данных МТЗ и обсудим полученные 1D модели с точки зрения оценки приблизительных диапазонов глубины распределения проводимости основных тектонических структур пересекаемых, профилем.

Представленные ниже результаты получены по методике, развиваемой в ИГФ Чешской АН [3]. На рис. 4 представлены вертикальные геоэлектрические разрезы в трех пунктах. Из рисунка видно, что результаты 1D инверсии удовлетворяют экспериментальные значения главных и дополнительных импедансов практически во всем диапазоне периодов от 10–20 с до 10 000 с и более секунд (рис. 4, А, Б).

В верхней части разреза (рис. 4, В), там где позволяет суммарная продольная проводимость, выделяются осадочные породы, сопротивление которых составляет около 10 Ом·м в Складчатых Карпатах (п. Спл) и 1 Ом·м в Бориславской подзоне, по Вялову, Предкарпатского прогиба (п. Стр). Как видно из рисунка, хорошо проводящие осадки залегают до 3 км.

Следующий (по глубине) проводящий слой выделяется на всех пунктах в интервале глубин 10–20 км. Если в п. Спл и Млн слой выделяется по кривым МТЗ в обоих направлениях, что может свидетельствовать о горизонтальной однородности слоя, то в п. Стр четко видна анизотропия. Минимальное удельное электрическое сопротивление (уэс) слоя увеличивается от зоны Крап (где оно составляет менее 10 Ом·м) далее к ВПП (где оно близко к 20 Ом·м). Сопротивления вмещающих слой пород как минимум на два порядка выше и достигает 1000 Ом·м. Азимут минимального уэс на всех пунктах близок к 120° , что хорошо согласуется с оценками направлений региональных неоднородностей, определенных ранее.

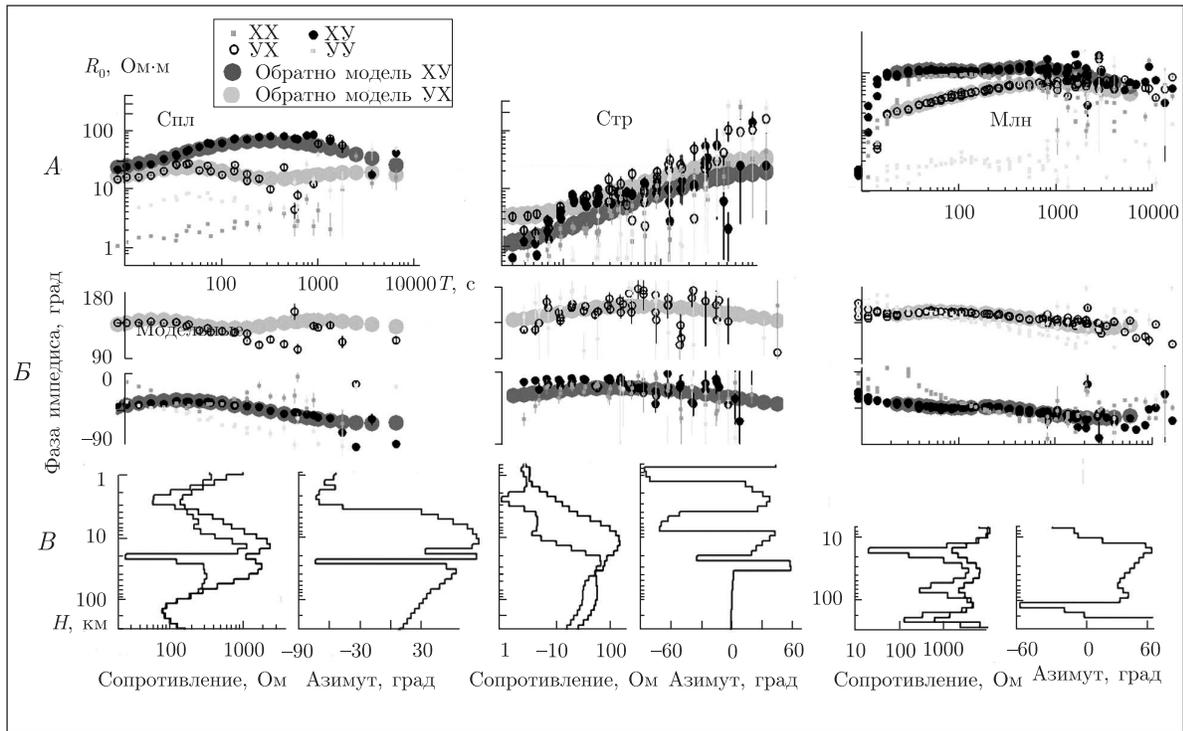


Рис. 4. Геоэлектрические разрезы согласно одномерной инверсии анизотропной моделью в зоне Крпа. Кривые МТЗ (*A* — амплитудные, *B* — фазовые) и результаты их одномерной инверсии анизотропной моделью (*B*), по [3], в различных тектонических зонах

Результаты инверсии показывают, что на глубинах до 140 км на п. Спл и Млн наблюдается резкое понижение уэс по сравнению с вмещающими породами, но выделение этих объектов в виде слоя затруднительно в рамках одномерной модели.

В случае пригодности двухмерной модели для выделенных проводящих объекта в земной коре одномерная инверсия дает результат, близкий к истинному в пунктах, расположенных над осевой частью объекта. Из-за влияния индукционного эффекта проводящий объект будет проявляться на МТ-параметрах и в пунктах, расположенных вне объекта. Поэтому на настоящем этапе интерпретации нельзя утверждать, что слой в п. Стр (залегаящий в интервале глубин 10–20 км) не является проявлением индукционного эффекта от проводящих осадков Предкарпатского прогиба.

Таким образом нами впервые получены магнитовариационные параметры в 21 пункте с оценкой их точности, что является уникальным по плотности наблюдений для Карпатского региона на всем его протяжении от Словакии до Румынии. Для данной территории впервые также изучены длительные записи вариаций МТ поля, которые позволили получить кривые МТЗ в диапазоне периодов от 20–40 с до 6000–12 000 с. Результаты 1D инверсии кривых МТЗ свидетельствуют о наличии проводящего слоя в интервале глубин 10–20 км, выделенного в Карпатском регионе и на Вольно-Подольской плите.

1. Великанов В. Я., Колосовська В. А. Схема структурно-тектонічного районування // Геологічна карта докайнозойських утворень України М-6 1:1000000 / Ред. В. І. Калінін. – Київ, 2000.
2. Гордиенко В. В., Гордиенко І. В., Завгородня О. В., Ковачикова С., Логвинов І. М., Тарасов В. Н., Усенко О. В. Український щит (геофізика, глибинні процеси). – Київ: Корвін-прес, 2005. – 210 с.

3. Pec J., Santos E. Magnetotelluric inversion for anisotropic conductivities in layered media // Phys. Earth Planet. Int. – 2006. – 47. – P. 33–41.

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

Поступило в редакцию 18.12.2008

I. M. Logvinov, I. V. Gordienko, V. N. Tarasov

Geoelectric investigations on the Transcarpathians — Volyn-Podillya profile

For the territory of Ukraine, that includes the Carpathians region and adjoining structures, tip-pers and components of the tensor of impedance in the range of periods 10–20 to 4900–10800 s are first obtained at 21 points. The estimations of the main directions of geoelectric structures which determine the behavior of the MT field are made. The decomposition of the magnetotelluric impedance tensor is also carried out by four modern approaches. The results of a 1D inversion of curves of MTS testify to the presence of a conducting layer in the interval of depths 10–20 km selected in the Carpathian region and on the Volyn-Podilsk plate.