

И.М. Логвинов, Б.Т. Ладанивский

Анализ передаточных функций магнитотеллурического поля на профиле PREPAN'95 (Украина — Польша — Словакия — Венгрия)

(Представлено академиком НАН Украины В. И. Старостенко)

Для міжнародного профілю PREPAN'95 вперше отримано оцінки горизонтального магнітного тензора; значення компоненти тензора імпедансу і геомагнітні передавальні функції з використанням методик віддаленої точки, а також за допомогою різноманітних декомпозицій тензора імпедансу визначено головні напрями геоелектричних структур, що впливають на поведінку магнітотеллуричного поля.

В 1995 г. в рамках международного проекта PREPAN'95 были выполнены наблюдения пяти компонент магнитотеллурического (МТ) поля вдоль профиля Украина—Польша—Словакия—Венгрия. Профиль пересекает Вольно-Подольскую плиту (ВПП) Восточно-Европейской платформы (ВЕП), зону Тейсейра-Торнквиста, Карпатский регион (в пределах которого находится Карпатская аномалия проводимости — Крап) и выходит на Паннонскую впадину (рис. 1). Предварительные результаты обработки материалов пунктов наблюдений и двухмерная интерпретация с использованием магнитовариационных параметров (типперов) приведены в работе [1], интерпретация кривой магнитотеллурического зондирования (МТЗ) в пункте профиля в Польше, где были выполнены дополнительные наблюдения в диапазоне аудиомангнитотеллурики (в диапазоне 0,02–50 с) — в [2]. В 1997 г. на территории Польши были выполнены наблюдения еще в двух пунктах профиля, результаты определения магнитовариационных параметров в широком диапазоне периодов и их двухмерная интерпретация описаны в статье [3].

Авторами настоящего сообщения представлены экспериментальные данные, интерпретационные параметры и разъяснение полученных результатов, которые описаны ниже.

Магнитотеллурические зондирования. Для обработки временных рядов использовался широко применяемый алгоритм расчета передаточных функций (ПФ) Эгберта и Букера [4] в спектральной области. Первоначально оценка компонент тензора импеданса выполнялась с использованием данных только в пункте регистрации. Во многих случаях цифровые записи были осложнены промышленными и бытовыми помехами, что приводило к появлению больших погрешностей в определяемых параметрах. Б. Т. Ладанивским [5] предложен и реализован алгоритм (базирующийся на анализе статистических параметров временных записей), позволяющий на этапе предпроцессинга подавлять бытовые помехи. На втором этапе для подавления влияния некоррелированных шумов в электрических каналах применялась методика удаленной точки (remote reference), в качестве которой была взята обсерватория Бельск (Польша).

Результаты обработки материалов наблюденных пунктов получены в виде амплитудных и фазовых кривых МТЗ в диапазоне периодов от 0,5–1,0 с до 6000–10000 с в направлениях измерительных линий, которые ориентировались вдоль магнитного меридиана (x) и

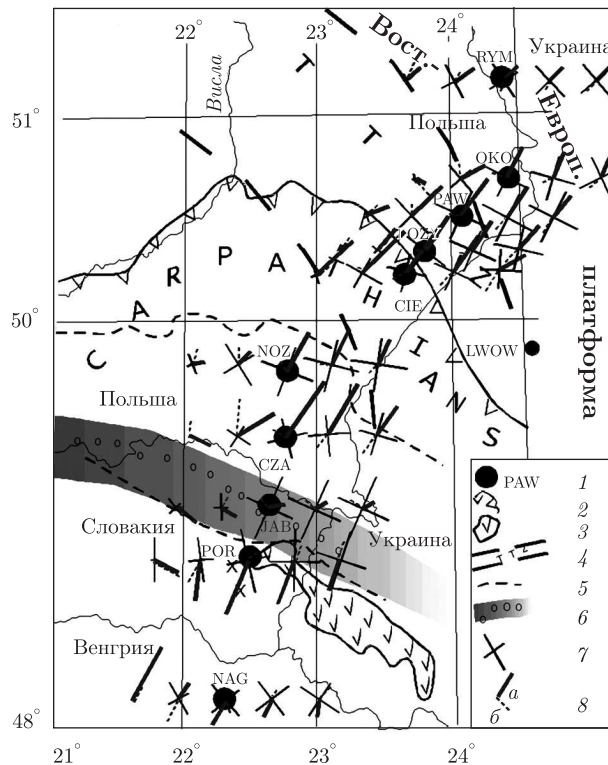


Рис. 1. Расположение пунктов наблюдений (1). 2 — Граница Карпат; 3 — Мармарошский массив; 4 — зона Тейсейра-Торнквиста; 5 — границы Складчатых Карпат; 6 — осевая часть Крап.
 Значения основных осей тензора M (7), C_u (8 а) и C_v (8 б) для периодов (слева направо), с: 110, 430, 1700, 3400, 6800 с

в перпендикулярном (y) направлении. Использование методики удаленной точки позволило уменьшить погрешность определения импедансов, а полученный результат во многих пунктах сильно отличается от полученного результата по одноточечной методике (рис. 2). Погрешность определения сопротивления и фазы в большинстве случаев не выходит за рамки обычной для подобных результатов.

В соответствии с современной МТ теорией передаточные функции представляются в виде комплексного тензора импеданса второго ранга, в случае 1D или 2D — строения среды с нулевыми диагональными элементами (дополнительные импедансы) и ненулевыми антидиагональными (основные импедансы). Задача анализа тензора импеданса, определяемого по экспериментальным данным, сводится к минимизации дополнительных импедансов и приведению значений тензора к антидиагональному виду. В таком случае полученные значения называются *главными значениями* тензора импеданса, а направления, в которых они определяются, *главными направлениями*. Здесь следует отметить, что в случае 2D регионального строения главные значения совпадают с продольной и поперечной составляющей тензора импеданса, а в случае 1D эти значения равны между собой вне зависимости от направления.

В данной работе для анализа передаточных функций вдоль профиля PREPAN и определения главных значений (и главных направлений) нами использовано четыре методики. Две из них носят формальный математический характер и состоят в ортогонализации наблюдаемого тензора импеданса. Две другие базируются на физическом представлении

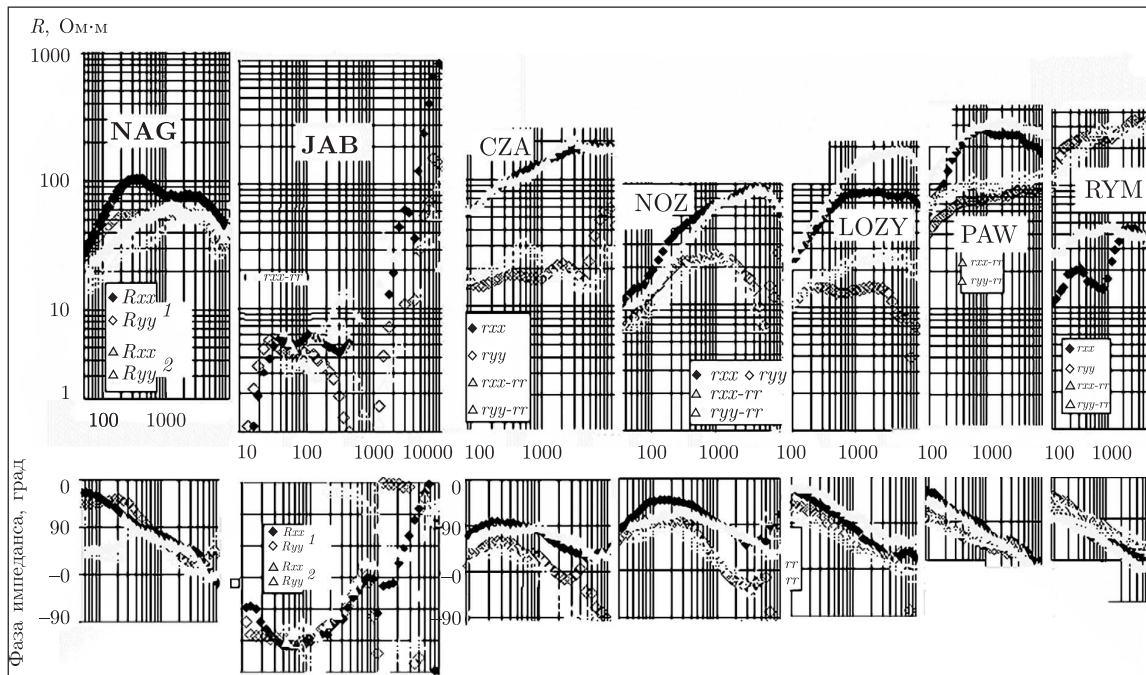


Рис. 2. Сопоставление данных МТЗ, полученных одноточечной обработкой (1) с применением методики удаленной точки (2)

влияния гальванических искажений на наблюдаемое МТ поле. Методом Свифта определен угол поворота матрицы импеданса на каждом значении периода, где достигается минимум значения $|Z_{xx} - Z_{yy}|^2$ (Z_{xx}, Z_{yy} — импедансы), т. е. определяется характерное направление неоднородности проводимости [6]. Методом Еггерса (метод ортогонализации Еггерса) получены собственные значения и собственные направления матрицы импеданса. Первое собственное значение соответствует максимальному импедансу, а второе — минимальному [7]. Соответствующие им направления не всегда ортогональны, что свидетельствует о наличии гальванических искажений.

Физическая сущность метода Бара [8] базируется на представлении: если размер локальных поверхностных неоднородностей проводимости существенно меньше в сравнении с региональными структурами, то на длинных периодах вариаций МТ поля величина электрических зарядов, скопившихся на границе неоднородности, будет пропорциональна величине регионального электрического поля и будет вызывать гальванические (статические и поэтому независимые от периода вариаций) искажения электрического поля. В этом случае методом Бара (часто называемым декомпозицией Бара) определен такой угол поворота матрицы импеданса, при котором фаза соответствующих основных и дополнительных (Z_{yx} и Z_{xx} соответствуют Z_{xy} и Z_{yy}) импедансов совпадает.

В последнее время широкое развитие приобретает метод фазового МТ тензора [9]. Сущность его базируется на представлении: гальванические искажения МТ поля не искажают фазовые соотношения всех компонент тензора импеданса. Поэтому фазы региональных импедансов и соответствующие им направления могут быть напрямую рассчитаны из наблюдаемого тензора для любого типа среды (1D, 2D или 3D).

На рис. 3 приведены результаты расчета главных направлений тензора импеданса для всех пунктов профиля PREPAN с применением перечисленных выше методик. Отметим,

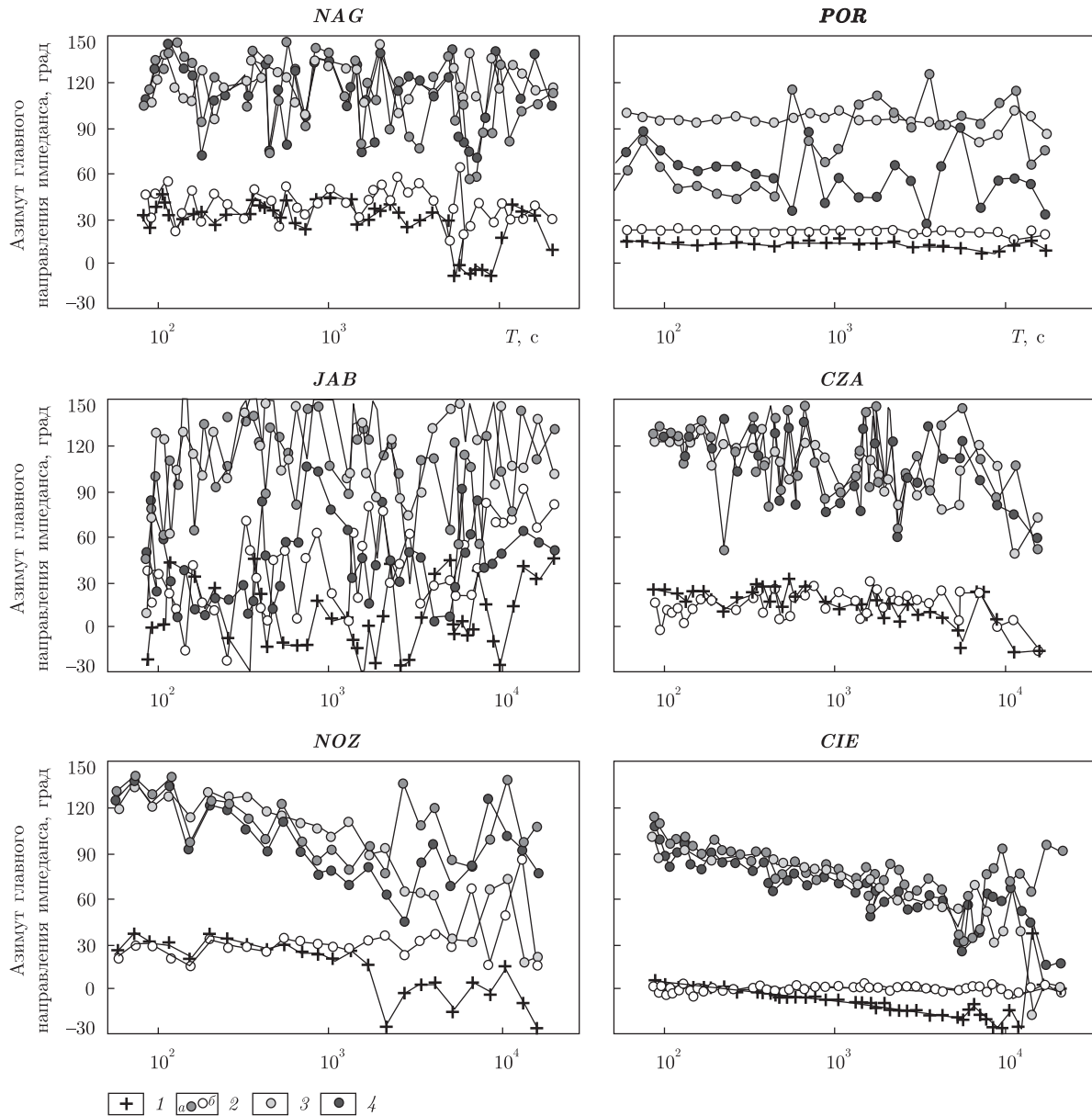
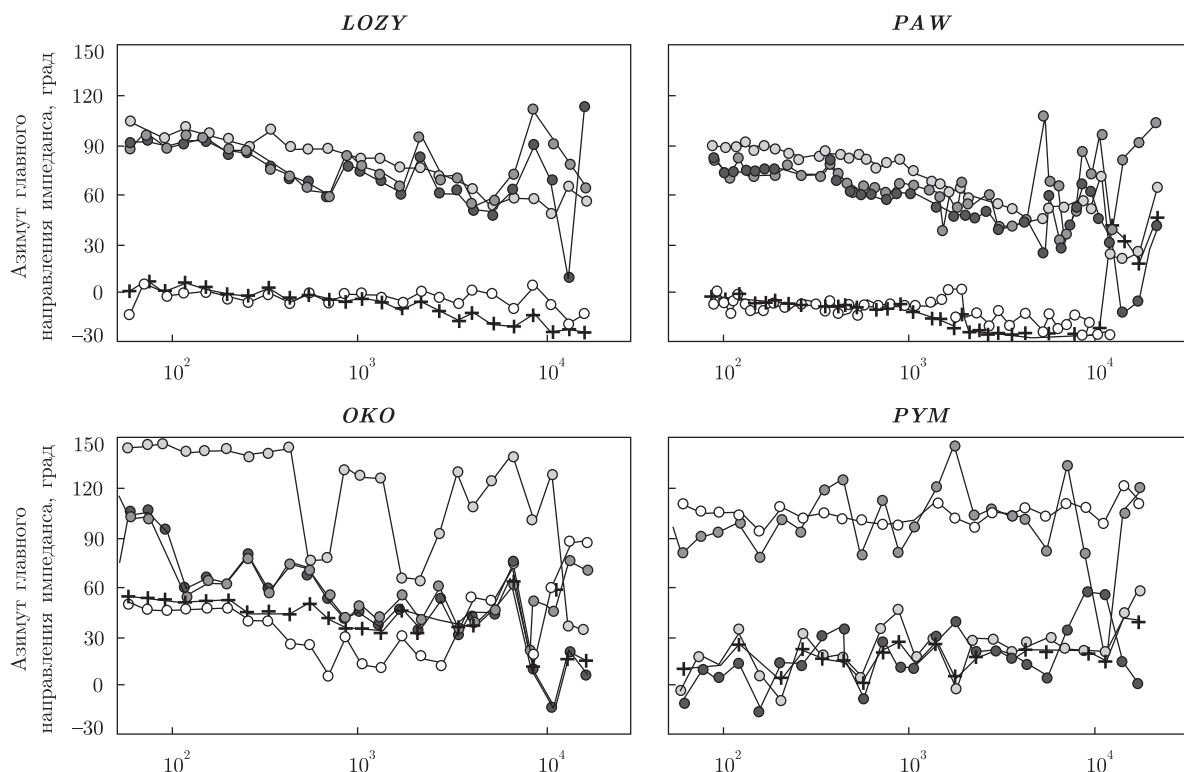


Рис. 3. Значения главных направлений импеданса (положительное значение по часовой стрелке от направления на север): 1 — по [6], 2 — по [7] (*a* — для максимального, *b* — минимального), 3 — по [8], 4 — по [9]

что определение азимутов главных направлений обусловлено неопределенностью в 90° , т.е. если разница между углами близка к 90° , то они определяют одно и то же направление. Таким образом, если азимут, полученный по методике Свифта и Эггерса, равен, например, 30° , а по остальным методикам — 120° , то мы имеем одно главное направление. Как видно из рисунка, направления, рассчитанные по разным методикам, за небольшими исключениями хорошо согласуются между собой. Одно направление наблюдается во всех пунктах в диапазоне периодов от самых коротких до 400–900 с. Азимут этого направления составляет $20\text{--}40^\circ$ и только в пунктах CIE, LOZ, PAW он изменяется до величин $-10\text{--}0^\circ$.



Продолжение рис. 3

На периодах, больших 1000 с, в пунктах NOZ, CIE, LOZ, PAW появляется второе направление, близкое к 60° . Большой разброс расчета азимутов по всем методикам, наблюдаемый в пунктах POR и JAB, связан с большим фоном помех наблюдаемого МТ поля.

В пунктах NAG, POR, CZA, NOZ усредненный по периодам азимут равен около 30° , в пунктах CIE, LOZ, PAW — около 0° , а в пунктах OKO и RYM — находится в диапазоне от 0 до 60° . В пункте JAB наблюдаются большие разбросы в определении азимутов по всем методикам.

Горизонтальный магнитный тензор (гмт). Эти магнитные передаточные функции (М) были получены для пунктов профиля впервые. Для их определения применялась методика удаленной точки (remote reference), в качестве которой использовались цифровые записи горизонтальных магнитных компонент на обсерватории Бельск. Все компоненты данного тензора определяются весьма устойчиво в диапазоне периодов от 20–60 с до 6400–10 800 с. Оценки М (в виде осей эллипса, построенного по компонентам тензора) для всех пунктов иллюстрирует рис. 1. По величине значений большой оси М, в двумерном случае перпендикулярной региональному направлению тока, выделяется три зоны повышенных М (рис. 4, а, б). Зона I соответствует осевой части Крап. Общим для всех зон является направление аномалеобразующего тока, изменяющееся от 105 до 120° , что в общем близко к таковым, определенным по декомпозициям импеданса.

Индукционные стрелки (типперы). Для определения действительных (C_u) и мнимых (C_v) частей типперов были использованы программы [1–5]. Сопоставление значений C_u и C_v по всем методикам показало хорошее согласие и позволило оценить параметры с погрешность 0.02–0.04 (для модуля) и 3 – 6° (для азимута).

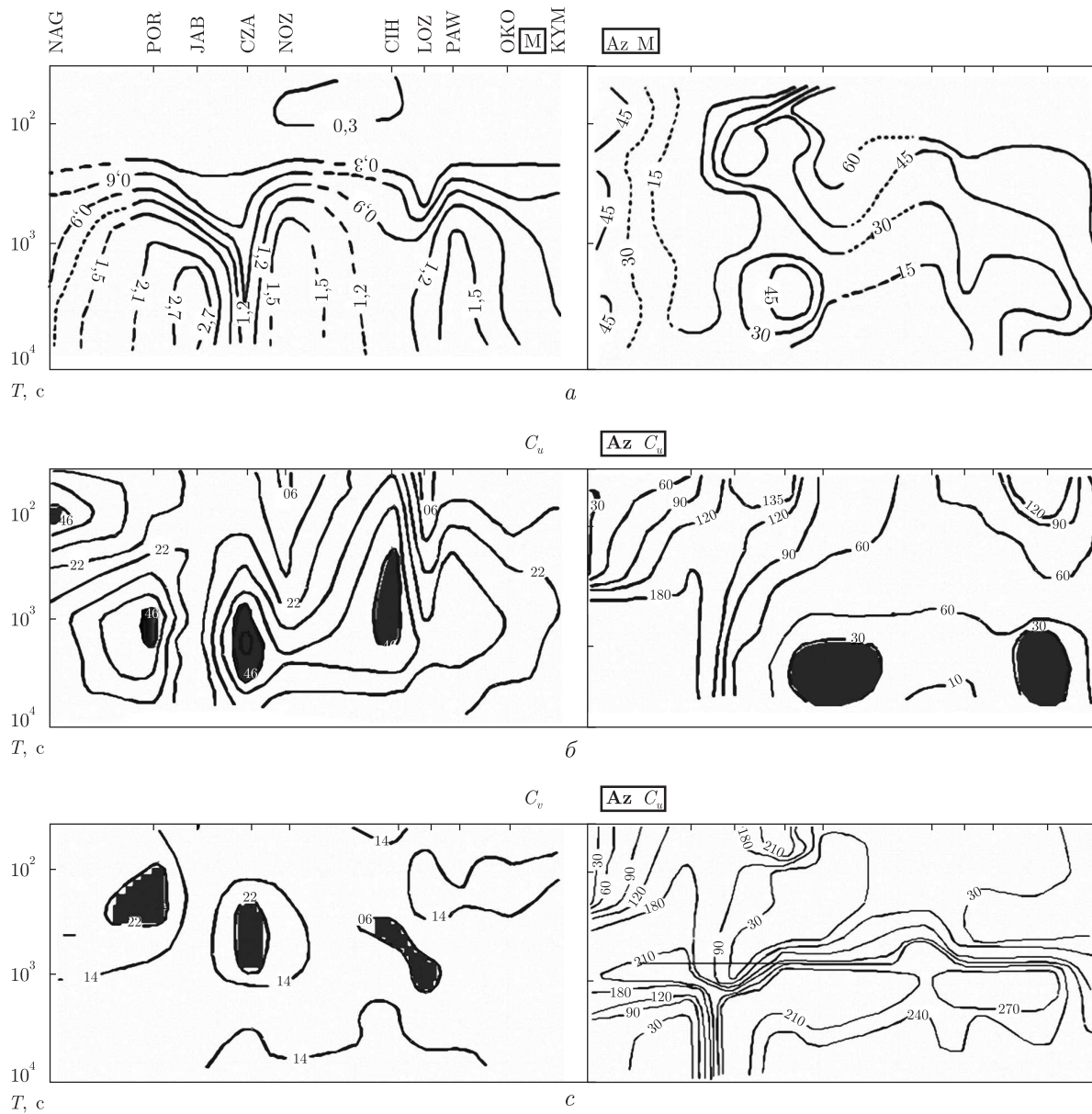


Рис. 4. Псевдорезрезы: значений и азимутов большой оси эллипсов параметра М (а); параметров C_u (б) и C_v (в)

Пространственно четко выделяются четыре зоны (рис. 4, б, в), величина C_u в которых превышает значение 0,4. Период максимума C_u в южной зоне (NAG) приходится на 100 с, в следующих двух — на 1600–2500 с, в четвертой (северной) — занимает интервал от 400 до 1600 с. Кроме самой южной зоны, максимальным значениям C_u как в пространстве, так и по периодам соответствуют минимальные значения C_v (менее 0,09). Четко отмечается резкая смена направления C_u (на 140–180°), пространственно и по периодам совпадающая с районом пункта JAB (предполагаемая ось Карпатской аномалии электропроводности). Отметим, что ориентация C_u в максимумах частотной характеристики совпадает для всех четырех зон.

Таким образом, нами приведены данные, позволяющие учесть сложный характер геоэлектрического строения региона. На основе комплексного методического подхода (использующего идеи последних лет) рассчитаны передаточные функции МТ поля в 10 пунктах профиля PREPAN. В результате анализа ПФ получены главные направления геоэлектрических структур, определяющих поведение МТ поля. Впервые для данного профиля оценены значения горизонтального магнитного тензора.

1. Adam A., Ernst T., Jankowski J., Jozwiak W. et al. Electromagnetic induction profile (PREPAN'95) from the east European Platform (EEP) to the Pannonian Basin // Acta Geod. Geoph. Hung. – 1997. – **32**, No 1–2. – P. 203–233.
2. Ernst T., Jankowski J., Semenov V., Jozwiak W. The electromagnetic sounding across TT zone in the East-South Poland // The 14-th Workshop on Electromagnetic induction in the Earth, Romania, 16–22 Aug., 1998. – Bucharest, 1998. – P. 79.
3. Ernst T., Jankowski J., Jozwiak W. et al. Geoelectrical model along a profile across the Tornquist-Teisseyre zone in southeastern Poland Acta Geoph. Polonica. – 2002. – **50**, No 4. – P. 505–515.
4. Egbert G. D., Booker J. R. Robust estimation of geomagnetic transfer function // Geophys. J. R. Astron. Soc. – 1986. – **87**. – P. 173–194.
5. Ладанівський Б. Т. Алгоритм обработки данных МТЗ // Пятые геофиз. чтения им. В. В. Федынского, 27 фев. – 01 марта, 2003 г., Москва : Тез. докл. – Москва: Б. и., 2003. – С. 134–135.
6. Swift C. M. A magnetotelluric investigation of an electrical conductivity anomaly in the Southwestern United States // Ph. D. Thesis. – 1967. – 94 p.
7. Eggers D. E. An eigenstate formulation of the magnetotelluric impedance tensor // Geophys. – 1982. – **47**. – P. 1204–1214.
8. Bahr K. Interpretation of the magnetotelluric impedance tensor: regional induction and local telluric distortion // J. Geophys. – 1988. – **62**. – P. 119–127.
9. Caldwell T. G., Bibby H. M., Brown C. The magnetotelluric phase tensor // Geophys. J. Int. – 2004. – **158**, P. 457–469.

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

Поступило в редакцию 03.12.2008

*Карпатское отделение Института геофизики
им. С. И. Субботина НАН Украины, Львов*

I. M. Logvinov, B. T. Ladanivsky

The analysis of a magnetotelluric transfer function along PREPAN'95 profile (Ukraine — Poland — Slovakia — Hungary)

For international profile PREPAN'95 that runs across Ukraine, Poland, Slovakia, and Hungary, the estimations of the horizontal magnetic tensor, the magnetotelluric impedance tensor, and the geomagnetic transfer functions are first obtained by the remote reference method. The decomposition of the magnetotelluric impedance tensor is carried out by four modern approaches.