

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

Новые результаты геоэлектрических исследований Кировоградской аномалии электропроводности на севере Украины

(Представлено академиком НАН Украины В. И. Старостенко)

Вперше наведено певні індукційні вектори і отримано результати магнітотелуричного зондування (МТЗ) в діапазоні періодів від (10–40) с до (4900–10 800) с у 8 пунктах, розташованих на профілі, що перетинає Кировоградську аномалію електропровідності (КАЕ) на самій півночі України. Згідно з 1D моделюванням даних у пунктах МТЗ, у східній частині профілю на глибинах 10–15 км було виділено провідну область, яка, можливо, і є об'єктом КАЕ.

Как показывают многолетние геолого-геофизические исследования, результаты которых обобщены в работе [1], на территории Украины можно выделить несколько зон современной активизации. Согласно представлениям адвекционно-полиморфной гипотезы [2, 3], активизация должна характеризоваться недавним появлением коровых очагов частичного плавления, отдельными вторжениями магмы в верхнюю кору, выносом флюидов над ними к поверхности, вертикальными подвижками блоков, формированием зон термоупругих напряжений вокруг магматических очагов. Наблюдаемые геологические проявления сводятся к недавним перемещениям поверхности, активизации разломов, местной сейсмичности, появлению глубинных флюидов с характерным химизмом и изотопией. Одной из крупных геодинамически активных зон в литосфере центральной части Украины является область, в которой, по данным геоэлектрических исследований, под руководством И. И. Рокитянского сотрудниками ИГФ НАН Украины в 1967 г. обнаружена Кировоградская аномалия электропроводности (рис. 1).

На рис. 2 представлены результаты глубинных геоэлектрических исследований вдоль профилей, пересекающих Кировоградскую аномалию электропроводности (КАЭ), от южного склона Украинского щита (УЩ) до северного борта Днепровско-Донецкой впадины (ДДВ). Геоэлектрические параметры объектов КАЭ определены на основе как данных магнитотелурических зондирований (МТЗ), так и магнитовариационного профилирования (МВП) — индукционных стрелок (в англоязычной литературе обозначаемых термином *ti-rreg* — тишпер) с помощью решения двухмерной обратной задачи [4].

Настоящая работа посвящена первым результатам магнитотелурических (МТ) исследований, проведенных в 2008 г. с целью прослеживания возможного продолжения КАЭ в самой северной части Украины (см. рис. 1, профиль Е — Е). При проведении полевых работ учитывались накопленный опыт и анализ данных, полученных на предыдущих профилях. Прежде всего выбран более локальный шаг зондирований с характерным расстоянием между точками порядка 10 км.

Техника полевого эксперимента. Регистрация вариаций МТ поля проводилась тремя 5-компонентными цифровыми магнитоэлектрическими станциями (1 — польская длиннопериодные МТ станции с модифицированными кварцевыми датчиками Боброва, 2 —

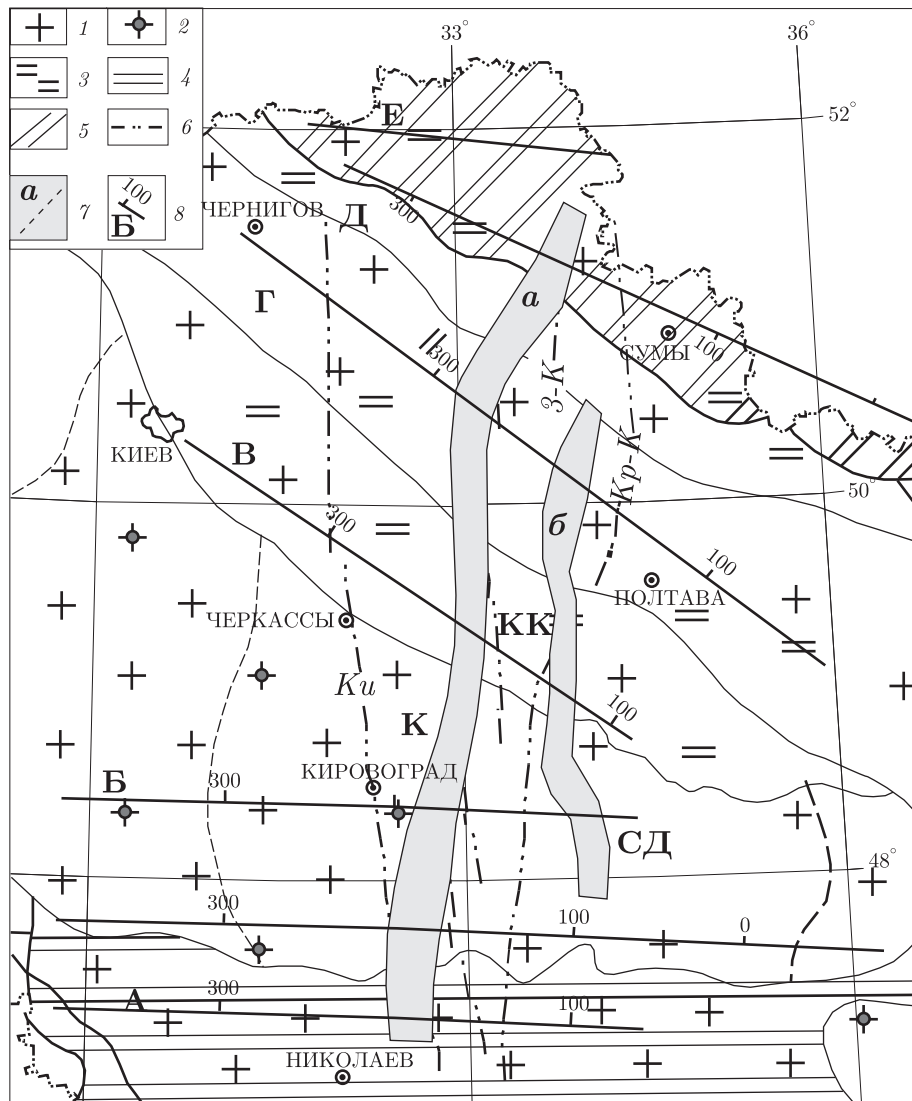


Рис. 1. Тектоническая карта северо-западного сегмента Восточно-Европейской платформы (1). Украинский щит (2) в контуре изогипсы 0 м и его основные блоки: Кировоградский (К), Криворожско-Кременчугская шовная зона (КК), Среднеприднепровский (СД). Впадины: Днепроовско-Донецкая (3) и Причерноморская (4). Юго-западное крыло Воронежской антеклизы (5). Разломы (6): *Ku* — Кировоградский, *3-К* — Западно-Ингулецкий, *Кр-К* — Криворожско-Кременчугский; 7 — плановое расположение объектов КАЭ (основного — *a*, дополнительного — *б*); 8 — профили, вдоль которых проведена 2D инверсия МТ данных

львовского производства GEOMAG) с шагом дискретизации 1 с. Обсерватория Киев, на которой регистрация проводится цифровой магнитной станцией львовского производства LEM1, выбрана основной удаленной базой для решения задач синхронной обработки данных. Датчики горизонтальных компонент МТ поля были ориентированы по осям правой прямоугольной системы координат XOY с осью X , направленной на геомагнитный север. Длины электрических линий лежали в пределах 40–80 м. Использовались неполяризуемые электроды польского производства и свинцовые ИГФ НАН Украины. Временные метки начала и конца записи определялись по GPS, дискретизация в процессе записи опре-

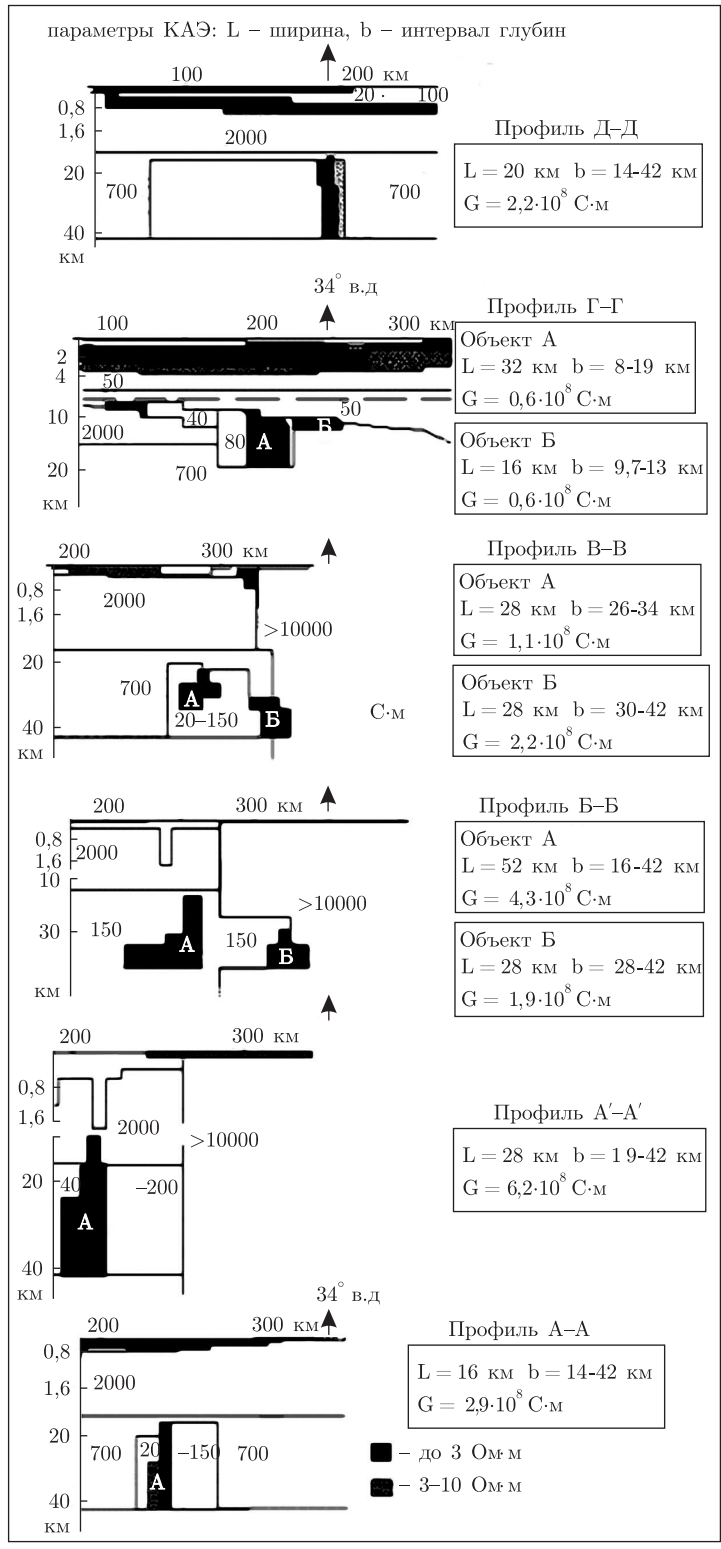


Рис. 2. Геоэлектрические параметры объектов КАЭ, по данным 2D инверсии вдоль всех профилей, показанных на рис. 1

делялась кварцевыми часами. Координаты полевых пунктов зондирования определялись средствами GPS. На шести полевых пунктах получены достаточно качественные записи всех пяти компонент МТ поля общей длиной более 5 сут с явной синхронностью вариаций. На п. Прв из-за выхода из строя канала вертикального поля были получены записи только 4 компонент. В процессе работ мы столкнулись с большими трудностями, связанными с помехами на электрическое поле, источником которых были: электрифицированная железная дорога Киев — Москва и региональные трубопроводы (вернее их станции катодной защиты). В связи с небольшими значениями суммарной продольной проводимости (S) осадочных пород в районе профиля влияние помех распространялось на значительное расстояние, что привело к сильным искажениям записи. Поэтому для построения кривых МТЗ практически на всех пунктах пришлось применять чрезвычайно кропотливую работу по очистке записей электрических каналов от помех.

На следующем этапе углубленной обработки будут получены дополнительные RR (обработка с использованием удаленной базовой станцией) оценки в полевых пунктах с привлечением записей вариаций МТ поля на геомагнитной обсерватории Киев.

Оценки интерпретационных параметров (импеданса и типпера). Значения всех передаточных функций МТ поля получены с использованием различных методик, описанных в предыдущих работах авторов [1, 4]. На первом этапе обработки были построены полярные диаграммы модуля основного (Zxy) и дополнительного (Zxx) импедансов; определены главные направления матрицы импеданса и значения импедансов в этих направлениях; определены значения индукционных стрелок (типперов).

В каждом пункте импеданс и типпер оценивались по одноточечной схеме. Устойчиво типпер был определен для периодов от 10–20 с до 4900–10800 с. На периодах, больших 10800 с, амплитудные оценки типпера неустойчивы ввиду недостаточного времени регистрации вариаций. Значения типперов определены с погрешностью 0,02–0,04 и 3–5° (соответственно для модулей и их азимуты).

Длины индукционных векторов в указанном диапазоне периодов не превосходят уровня 0,28–0,43. Ориентация доминирующих действительных векторов в западной части профиля вплоть до п. Рдм для периодов менее 1000 с перпендикулярна простиранию ДДЗ (20°). С приближением к предполагаемому продолжению КАЭ азимут C_u становится равным 320–340°, а в п. Спч — 120°.

На рис. 3, А в виде псевдоразреза показаны итоговые частотные зависимости реальной (C_u) и мнимой (C_v) частей типпера. Для сравнения поведения типперов на рисунке приведен и псевдоразрез тех же параметров (см. рис. 3, Б) для расположенного южнее профиля (см. рис. 1, Д — Д). Разрезы совмещены по линии 34° в. д., в районе которого на профиле Д — Д проходит осевая часть КАЭ. Для C_u четко видно пространственное совпадение особенностей разрезов на обоих профилях, отличие отмечается только в величине отрицательных значений C_u (на профиле Е — Е они меньше). Ввиду малости абсолютных значений видимое согласие поведения C_v менее выразительное, хотя основные особенности сохраняются. Таким образом, поведение C_u и C_v на профиле Е — Е позволяет предположить, что КАЭ прослеживается и на этом пересечении, причем ее осевая часть расположена в районе пунктов Прв и Спч.

В результате обработки по методике МТЗ были получены устойчивые оценки импеданса в диапазоне от 20 с до 10000–14000 с. Определены все четыре компоненты матрицы импеданса, ее главные направления и оценены параметры неоднородности МТ поля в трех пунктах. Степень горизонтальной неоднородности среды оценивалась с помощью

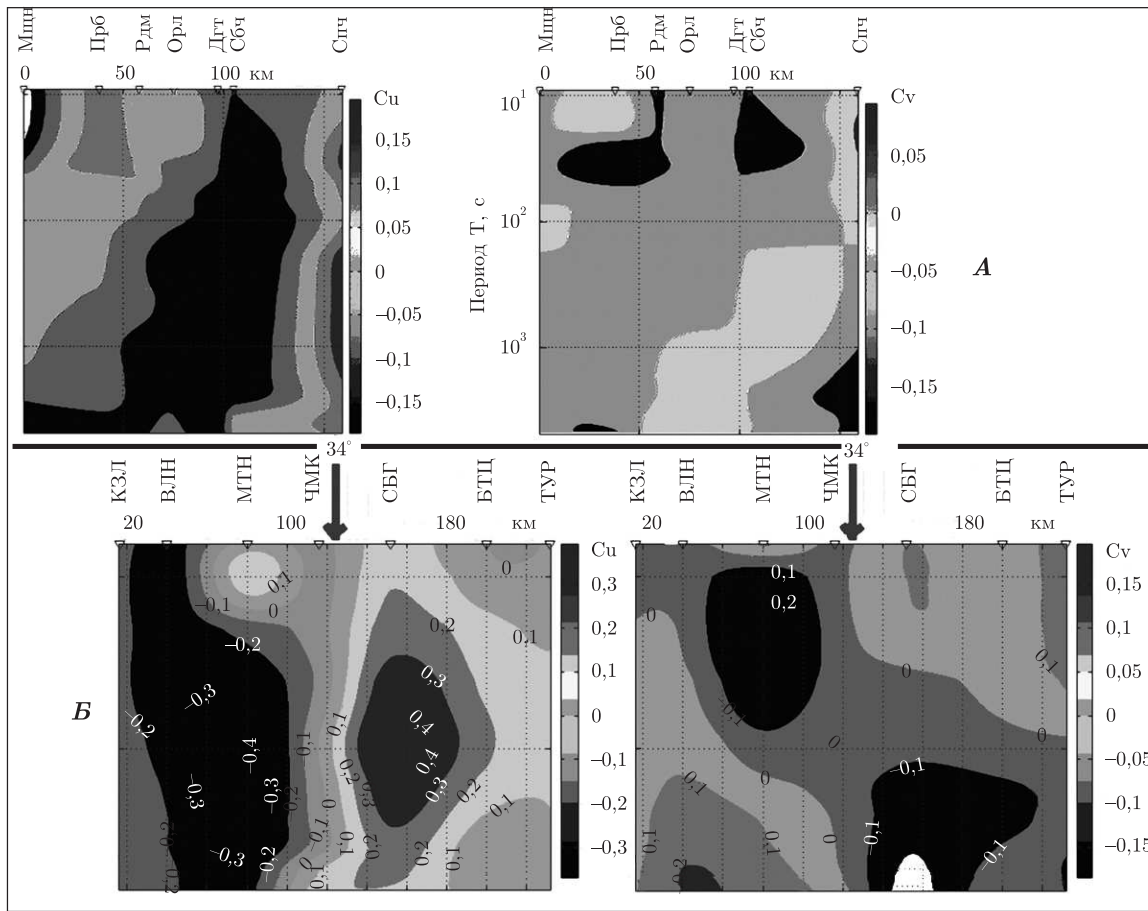


Рис. 3. Псевдоразрез реальной (C_u) и мнимой (C_v) частей типпера вдоль профилей Е — Е (А) и Д — Д (Б)

параметра skew (превышение значения 0,3 считается свидетельством сильной горизонтальной неоднородности среды в районе зондирования). Частотные зависимости параметра skew на всех пунктах указывают на то, что в диапазоне периодов 10–4000 с влияние горизонтальных неоднородностей в пунктах Дгт и Прв незначительно (величина параметра не превышает 0,3) и лишь в п. Спч превышает это значение. Главное направление матрицы импеданса резко меняется при передвижении от п. Дгт на восток, что четко видно из определений как азимута осей неоднородности, так и полярных диаграмм Z_{xy} и Z_{xx} импедансов.

На рис. 4 приведены амплитудные и фазовые кривые ГМТЗ в главных направлениях матрицы импеданса. Видно, что кривые ρ_k для азимутов 105–130° на пунктах, расположенных вблизи ПП, подобны по форме — они имеют восходящую ветвь, максимум и нисходящую ветвь на периодах, больших 3000 с. Кривые ρ_k для азимутов 35–45° на тех же пунктах также подобны по форме, которая отличается от предыдущих. По уровню максимальных значений ρ_k кривые этого направления различаются более чем на порядок. Отличительной особенностью фазовых кривых импеданса (см. рис. 4) является подобие всех фазовых кривых независимо от того, в каком направлении они получены. Расхождение значений фаз на каждом пункте не превышает 10° во всем диапазоне периодов вплоть до 10000 с (за исключением п. Прн). В целом импедансные данные свидетельствуют о квазидвухмерности

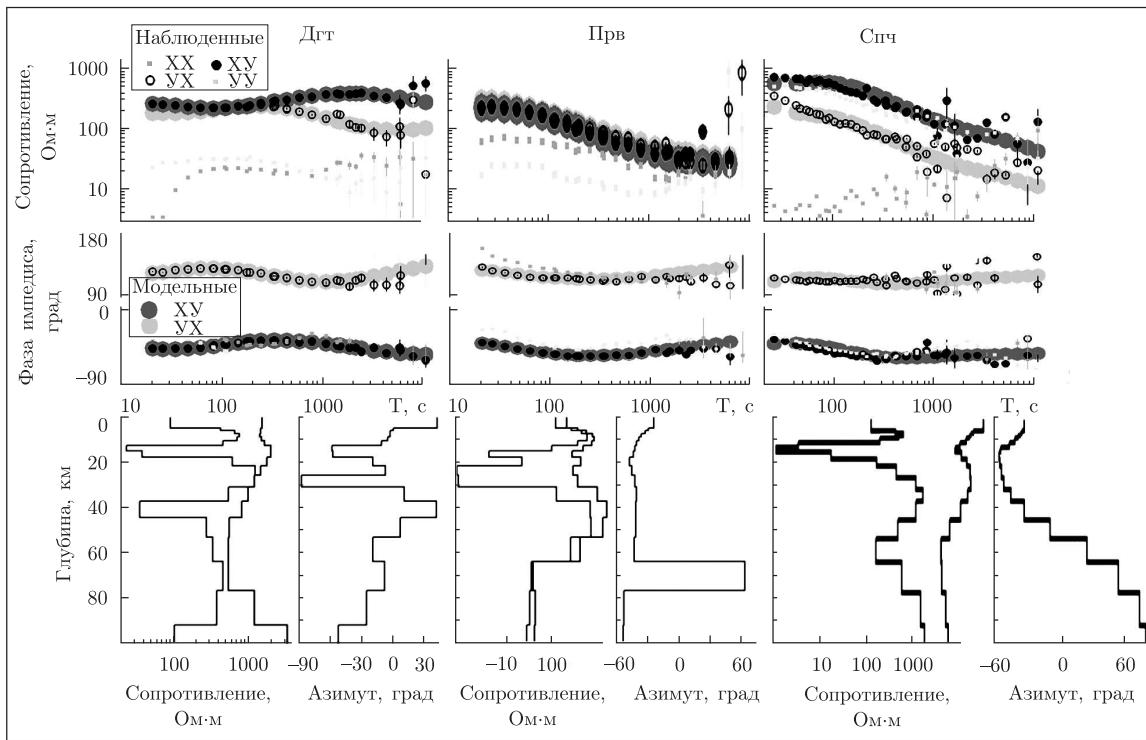


Рис. 4. Геоэлектрические разрезы согласно одномерной инверсии анизотропной модели в зоне КАЭ на профиле Е — Е

геоэлектрической структуры под п. Прв и Спч (что подтверждается и перпендикулярностью направлений S_u и главного направления матрицы импеданса), простирающихся вдоль зоны КАЭ. Максимальные кривые в пунктах Прв и Спч в этом случае надо рассматривать как продольные.

Результаты 1D инверсии кривых МТЗ. Так как к настоящему времени МТ наблюдения обработаны только на пунктах, предположительно расположенных в западной части зоны КАЭ, то применение 2 или 3D моделирование для таких данных спекулятивно. Поэтому ограничимся одномерной интерпретацией данных МТЗ и обсудим полученные 1D модели с точки зрения оценки приблизительных диапазонов глубины распределения проводимости основных проводящих структур, связанных с КАЭ.

Представленные ниже результаты получены по методике, развиваемой в ИГФ АН Чешской Республики [5]. Отметим, что использование инверсии для анизотропной слоистой среды не подразумевает поиска реальной физической анизотропии пород. Процедура инверсии используется исключительно, как инструмент, позволяющий к кривым МТЗ в двух направлениях на каждом пункте применить эквивалент одномерной анизотропной слоистой среды. Эквивалент понимается в том смысле, что расчетные значения полей от такой модели удовлетворяют экспериментальным МТ данным. Использование определенной таким образом процедуры анизотропной инверсии является практически расширенным вариантом способа одномерной инверсии каждой из кривых МТЗ в выделенных направлениях. В случае, когда среда действительно двухмерна, геоэлектрический разрез по анизотропной инверсии должен соответствовать разрезам, полученным от 1D инверсии продольных и поперечных кривых.

Анизотропная инверсия дает некоторые практические преимущества: а) позволяет избежать пересчета экспериментальных кривых МТЗ в выбранные направления, что сильно зависит от качества определения компонент импеданса; б) позволяет находить геоэлектрический разрез локальных структур даже в случае изменения простирания этих структур на разных периодах; в) указывает диапазоны глубин, где возможна интерпретация наблюдаемых данных изотропной моделью. Кроме того, анализируя максимальные и минимальные моды эквивалентной 1D анизотропной модели, можно проверить характеристики моделей, полученных независимо по одномерной инверсии в выбранных направлениях.

На рис. 4 показано сопоставление кривых МТЗ с результатом инверсий и представлены вертикальные геоэлектрические разрезы в пунктах, где удалось получить наиболее достоверные оценки всех МТ-параметров и результаты 1D инверсии удовлетворяют (с погрешностью, не превосходящей тройную ошибку определений импедансов) экспериментальные значения практически во всем диапазоне периодов от 10–20 с до 10000 с и более.

В верхней части разреза с трудом (мощность осадков и их сопротивление не позволяют их точно диагностировать в наблюдаемом диапазоне периодов) выделяются осадочные породы, сопротивление которых составляет около 100 Ом·м. Как видно из рис. 4, хорошо проводящий слой (его ρ составляет менее 10 Ом·м) выделяется в интервале глубин 10–15 км. Сопротивления вмещающих слой пород как минимум на два порядка выше и достигает 1000 Ом·м.

Результаты инверсии показывают наличие второго хорошо проводящего объекта в пунктах Прв и Дгт, залегающего на глубинах более 20 км. В случае пригодности двухмерной модели для выделенного проводящего объекта 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 предпочтительнее выглядит модель, согласно которой КАЭ представлена объектом, который залегает в интервале глубин 10–15 км и пространственно расположен в районе пунктов Прв и Спч.

Выполненные в 2008 г. синхронные глубинные МТЗ на профиле в северной части Украины показали наличие значимых геоэлектрических аномалий. Анализ результатов обработки полученных материалов позволяет сделать вывод о наличии проводящего объекта в земной коре, пространственно согласующегося с общим простиранием Кировоградской аномалии электропроводности. По данным МТЗ, глубина залегания объекта и его мощность сопоставимы с параметрами аномалии на ее пересечении с ДДВ.

1. Гордиенко В. В., Гордиенко И. В., Завгородняя О. В., Ковачикова С., Логвинов И. М., Тарасов В. Н., Усенко О. В. Украинский щит (геофизика, глубинные процессы). – Киев: Корвин пресс, 2005. – 10 с.
2. Гордиенко В. В. Глубинные процессы в тектоносфере Земли. – Киев: Ин-т геофизики НАН Украины. – 1998. – 85 с.
3. Гордиенко В. В. Адвекционно-полиморфная гипотеза глубинных процессов в тектоносфере. – Киев: Корвин пресс, 2007. – 170 с.
4. Логвинов И. М., Тарасов В. Н. Геоэлектрическая 2 D-модель Кировоградской аномалии электропроводности // Геофиз. журн. – 2005. – 5. – С. 754–769.
5. Pec J., Santos E. Magnetotelluric inversion for anisotropic conductivities in layered media // Phys. Earth Planet. Int. – 2006. – 47. – P. 33–41.

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

New results of geoelectrical studies of the Kirovograd anomaly of conductivity in the north part of Ukraine

Certain induction vectors and the data of magnetotelluric sounding (MTS) in a range of the periods from 10–40 up to 4900–10 800 s in 8 items located on a profile crossing the Kirovograd anomaly conductivity (KAC) in the northeast part of Ukraine are given for the first time. By the 1D modeling of the results in the MTS items in the east part of the profile at depths of 10–15 km, the conducting area is selected which is probably an object of the KAC.