

А. М. Кушнір

## Синхронні магнітотелуричні та магнітоваріаційні зондування північної частини Дніпровсько-Донецької западини

(Представлено академіком НАН України В. І. Старостенком)

*Мета роботи — вивчення геоелектричної будови літосфери північної частини Дніпровсько-Донецької западини за допомогою сучасних методів синхронного електромагнітного зондування на основі природних полів. Отримано достовірні оцінки типперів для періодів геомагнітних варіацій 30–3500 с, горизонтальних МВ відкликів 30–10000 с і параметрів імпедансу від 30 до 10000 с. Якісна інтерпретація кривих МТЗ показала, що максимальні глибини залягання верхньої кромки провідника знаходяться у північному закінченні ДДЗ і південному схилі Брагінсько-Лоевського виступу, де змінюються від 40–30 км до 18 км і відповідають північно-східному закінченню Прип'ятської аномалії електропровідності. У центральній частині ДДЗ верхня кромка провідника залягає на глибинах 3–5 км і пояснюється перехідною зоною осадових відкладів і розуцільненої частини фундаменту. На схилах ДДЗ глибина залягання верхньої кромки провідника становить 8 км.*

**Ключові слова:** Дніпровсько-Донецька западина (ДДЗ), магнітотелуричне зондування (МТЗ), магнітоваріаційне (МВ) профілювання.

Регіон Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ) — унікальний об'єкт для вивчення сучасних геодинамічних процесів консолидованої земної кори. Методи глибинної геоелектрики передусім магнітотелуричний (МТ) і магнітоваріаційний (МВ) є провідними елементами цього комплексу та додають важливий внесок у розуміння тектонічної будови, флюїдного і геотермічного режимів надр.

Основні зусилля дослідників ДДЗ були зосереджені на описі електричних властивостей осадових відкладів западини для вирішення гідрогеологічних задач, пошуку нафтогазоносних пасток тощо. Переважну більшість магнітотелуричного зондування (МТЗ) виконано Українською центральною геофізичною експедицією в 80-х роках у короткоперіодному діапазоні геомагнітних варіацій від 1 до 1000 с з кроком між пунктами спостережень від 1–2 км до 10–15 км. У результаті цих робіт побудовано карту сумарної поздовжньої провідності (м-б 1 : 500 000). Завдяки чому в центральній частині ДДЗ в осадовій товщі виділено блоки високого опору, які приурочені до солянокупольних структур та антиклінальних складок. Тут на північному борту западини вище 2,5 км виділено провідник, що наближається до глибини 2–5 км та виявлено істотне розходження у геоелектричних розрізах на північному і південному бортах западини. На північно-східному борту питомий електричний опір ( $\rho$ ) фундаменту невисокий, в той час як на південному значення  $\rho$  досягають 10000 Ом · м [1].

Перші систематичні уявлення щодо глибинної геоелектричної будови земної кори північного схилу ДДЗ та Прип'ятського прогину були отримані по масиву МТ / МВ зондувань, проведених у 80–90-х рр. за допомогою аналогової апаратури в діапазоні частот від 100 до 10000 с співробітниками ІГФ ім. С. І. Субботіна НАН України. У земній корі і верхній мантії

північної частини Прип'ятського прогину виявлено об'єкти високої електропровідності [2]. У рамках еквівалентності геоелектричних розрізів отримано, два варіанти моделей, що задовольняють спостереженим даним. Результати моделей об'єднує наявність електропровідного каналу, аналогічного Речицькому глибинному розлому. Відмінність полягає в геометрії глибинного провідника. У першому випадку в надрах тектоносфери в інтервалі глибин 30–100 км присутній об'єкт із сумарною поздовжньою провідністю  $S = 3500$  См, у другому — він представлений двома провідниками на глибині 20–30 км і 50–100 км з  $S = 2000$  См і  $S = 3500$  См відповідно.

У науковій публікації [3] відзначено, що у вузлі перетину Північно-Прип'ятського і Брагінського розломів (у межах Гомельської структурної перемички) розташована Гомельська аномалія електропровідності, де глибина покрівлі становить близько 20–30 км із сумарною провідністю 100 См.

Природа електропровідності земної кори та верхньої мантії залежить від взаємодії численних геолого-геофізичних факторів. Найбільш значущими серед них є температура, мінеральний склад породи, наявність електропровідних мінералів і флюїдів. У працях [1, 2, 4] показано кореляцію провідників Прип'ятського прогину і ДДЗ з виділеними В. В. Гордієнком зонами можливого часткового плавлення в земній корі й верхній мантії та висунуто припущення про флюїдний механізм підвищеної електропровідності.

Сучасні підходи до використання методів глибинної геоелектрики при вивченні ДДЗ знайшли своє відображення в роботі [5], де застосовуються передові технології синхронного МТ/МВ зондувань з метою пошуку північної гілки Кіровоградської аномалії електропровідності, а також у спільних дослідженнях науковців ІГФ ім. С. І. Субботіна НАН України та УкрНДМІ НАН України. Ними було виконано сучасні аудіомагнітотелуричні і геоелектричні зондування в центральній і південній частинах ДДЗ. Незважаючи на значні обсяги геофізичних досліджень, виконаних у межах ДДЗ при розвідувальних і структурних роботах, ступінь вивченості глибинної будови північної частини ДДЗ електромагнітними методами залишається низькою.

Нові геоелектричні спостереження ДДЗ в широкому діапазоні періодів проведено автором у 10 пунктах спостережень: с. Березівка (Брз) — південно-східна частина Брагінсько-Лоевського виступу та південно-західна частина Прип'ятської аномалії електропровідності; села Пльохів (Пл), Ягідне (Яг), Лихачів (Лх), Даніно (Дн), Пелюхівка (Плх) — у межах осьової частини півночі ДДЗ; села Політрудня (Плт), Берестовець (Брс) — східний борт; села Пархимів (Пр), Красне (Кр) — західний борт ДДЗ (рис. 1).

Польові спостереження проводились довгоперіодними цифровими станціями LEMI-417 з ферозондовими магнітометрами [6], тривалість спостережень у польових пунктах 3–4 доби, відстань між пунктами спостережень 15–20 км.

У переважній більшості пунктів спостережень отримано кондиційні п'ятикомпонентні записи електромагнітного поля, що синхронні ще з однією польовою точкою і одним базовим МВ пунктом обсерваторії “Київ”. За цими даними здійснювалося оцінювання двох локальних передаточних операторів — МТ імпедансу  $Z$ , МВ типпера  $W_z$  та синхронних горизонтальних МВ операторів — повного  $M$  й аномального  $M^a$ .

Оцінювання в усіх пунктах зондування виконувалося у рамках багатоточкової схеми [7], в якій алгоритми когерентного відбракування і багаторівневого рабастного осереднення окремих оцінок передаточних операторів (багатовіконного та multi-RR) [8] посилено додатковими засобами відбракування спотворених оцінок на основі критеріїв обмеженої просторової та частотної мінливості горизонтальних МВ відгуків між точкою зондування і відда-

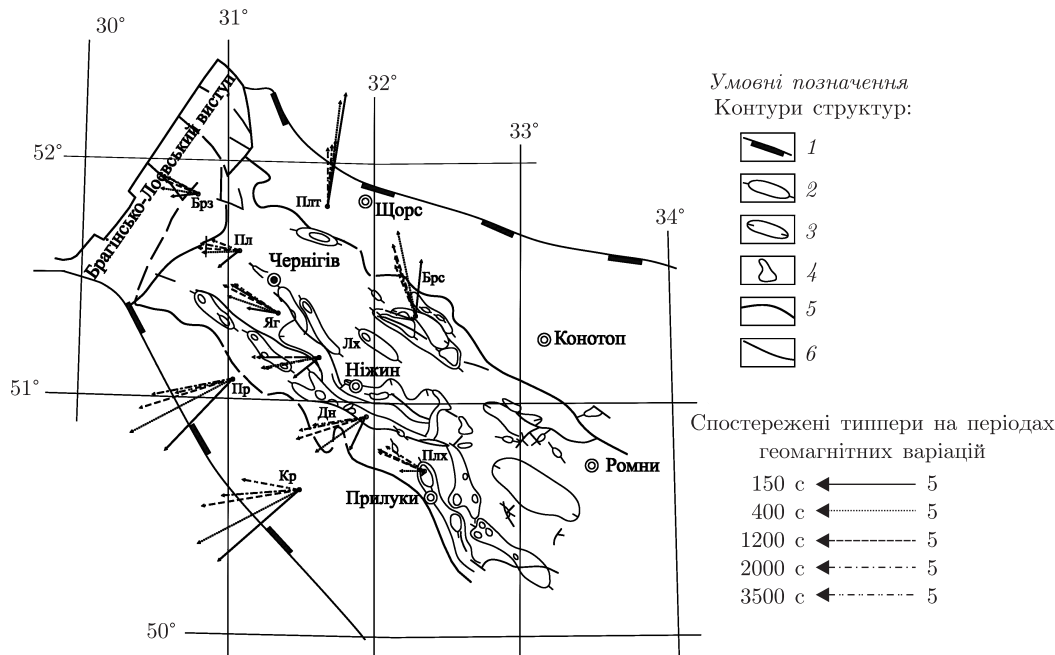


Рис. 1. Punkти МТЗ й МВП зондувань на фоні викопіювання з оглядової тектонічної карти [9].  
 Умовні позначення: 1 — контури платформних; 2 — позитивні структури (вали, купольні підняття); 3 — негативні структури (прогини, улоговини); 4 — соляні штоки; 5 — регіональні розломи; 6 — локальні розломи

леними синхронними (RR) точками. Що, в свою чергу, дозволило отримати надійні оцінки типперів для періодів геомагнітних варіацій 30–3500 с, горизонтальних МВ відгуків 30–10000 с і параметрів імпедансу 30–10000 с.

У першу чергу було проаналізовано реальну складову типпера з рис. 1, де чітко видно, що максимум частотної характеристики для схилу ДДЗ у пунктах Пр, Кр, Плт і Брс відзначений на періодах геомагнітних варіацій від 150 до 400 с, значно відрізняється від осьової частини в пунктах Брз, Пл, Яг, Лх, Дн, Плх — на періодах 1000–1500 с. Максимальні значення типпера на періоді 400 с досягаються в північному і південному схилах ДДЗ 0,5–0,45 з напрямом векторів на південний захід і північ. Мінімальні значення типпера спостерігаються в центральній частині ДДЗ та в південно-східній околиці Брагінсько-Ліоєвського виступу від 0,27 до 0,09, загальний напрям змінюється з південного заходу на північний захід. Положення типпера у короткому діапазоні періодів для схилу до 700 с та осьовій частині ДДЗ до 1200 с вказує на явно виражену тривимірність у верхній частині розрізу.

Наступним етапом було проаналізовано криві магнітотелуричного зондування (МТЗ) (рис. 2), що побудовані за напрямками вимірювальних ліній (вісь  $x$  орієнтована на північ,  $y$  — на схід). Ліва частина кривих характеризує провідні осадові відкладення з сумарною поздовжньою провідністю для осьової частини ДДЗ в пунктах Брз і Пл 600–750 См, у пунктах Яг, Лх, Дн, Плх і Брс 1000–2500 См, для прибортових частин у пунктах Кр, Плт і Пр 350–600 См. Усі криві МТЗ, за винятком пунктів Брз і Пл, відзначено нижче рівня глобальних даних. Мінімуми кривих найбільш яскраво виражені на меридіональних складових  $\rho_{xy}$  в інтервалі періодів від 100 до 1000 с у пунктах Плх і Брс. У всьому сі-

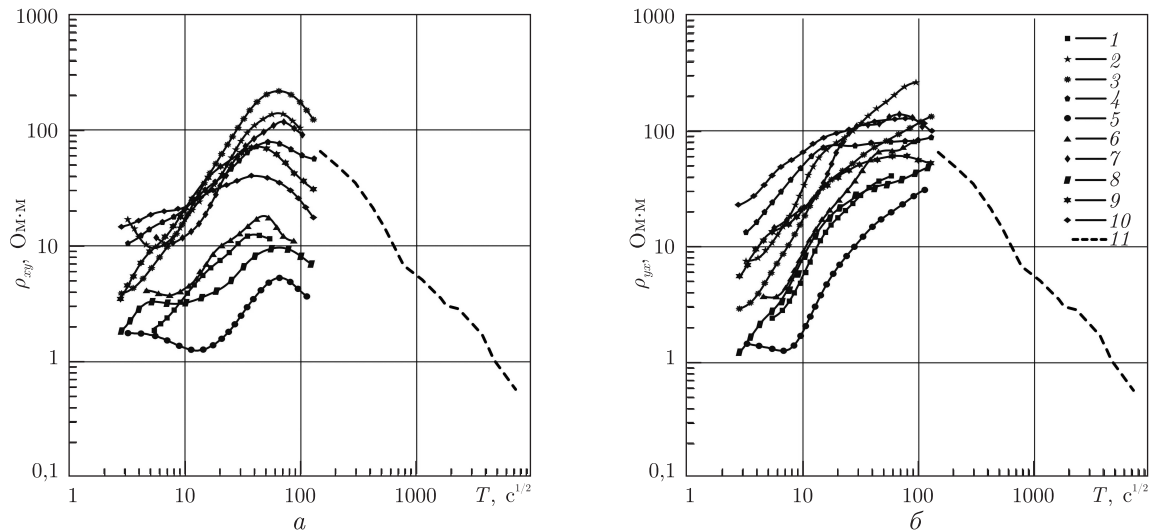


Рис. 2. Криві МТЗ (а — поздовжня поляризація, б — поперечна): 1 — Яг (Ягідне); 2 — Пл (Пльохів); 3 — Брз (Березівка); 4 — Плт (Політрудня); 5 — Плх (Пелюхівка); 6 — Дн (Даніно); 7 — Лх (Лихачів); 8 — Брс (Берестовець); 9 — Пр (Пархимів); 10 — Кр (Красне); 11 — крива глобальних даних (обсерваторія “Київ”)

мействі кривих  $\rho_k$  широтна складова  $\rho_{yx}$ , за винятком пункту Брз, спостерігається вище меридіональної компоненти з максимальною розбіжністю кривих від 10 до 40%. Криві МТЗ у пункті Лх зазнали незначних техногенних спотворень.

Якісна інтерпретація кривих МТЗ показала, що максимальні глибини залягання верхньої кромки провідника в центральній частині ДДЗ змінюються від 40–30 км до 18 км у пунктах Брз й Пл і відповідають північно-східному закінченню Прип'ятської аномалії електропровідності [2]. У пунктах Яг, Лх, Дн, Плх і Брс верхня кромка провідника простежується на глибинах 3–5 км, що пояснюється перехідною зоною осадових відкладень і розущільненням частини фундаменту [10]. На схилах ДДЗ у пунктах Кр і Плт глибина залягання верхньої кромки провідника 8 км. Положення кривих у пункті Пр можна пояснити виключно однорідними осадовими відкладами.

Компоненти горизонтального аномального поля (рис. 3) мають помітну аномальну частину, зумовлену струмами, що протікають у осадових відкладах ДДЗ і в найближчих корових аномаліях УЩ. Максимальні амплітуди головних компонент горизонтального аномального поля  $M_{yy}$  й  $M_{xx}$  досягаються в осьовій частині ДДЗ та в південно-східній околиці Брагінсько-Лоевського виступу 1,6–1,8 на періодах від 200 до 400 с з максимальною розбіжністю додаткових компонент  $M_{xy}$  й  $M_{yx}$  від 0,2 до 1,1. Тоді як мінімальні значення на тих самих періодах знаходяться в бортових частинах ДДЗ і становлять 0,3–0,5 для  $M_{yy}$  й  $M_{xx}$  та 0,1–0,7 для  $M_{xy}$  і  $M_{yx}$ . Розподіл індукційних параметрів у широкому діапазоні періодів їх розгортання на схилах і мінімальні значення в центрі, а також значення максимальних амплітуд горизонтального відгуку вказують на присутність витягнутого провідника в осьовій частині півночі ДДЗ.

Північно-західна частина ДДЗ є одним з перспективних районів на поклади вуглеводнів, які пов'язуються з палеозойськими відкладами осадового чохла, а також з докембрійськими утвореннями фундаменту [11]. Фундамент ДДЗ характеризується значним ступенем роздробленості [12], що підтверджується результатом якісної інтерпретації кривих МТЗ. Лабораторними дослідженнями керн восьми свердловин, пробурених у північно-західній

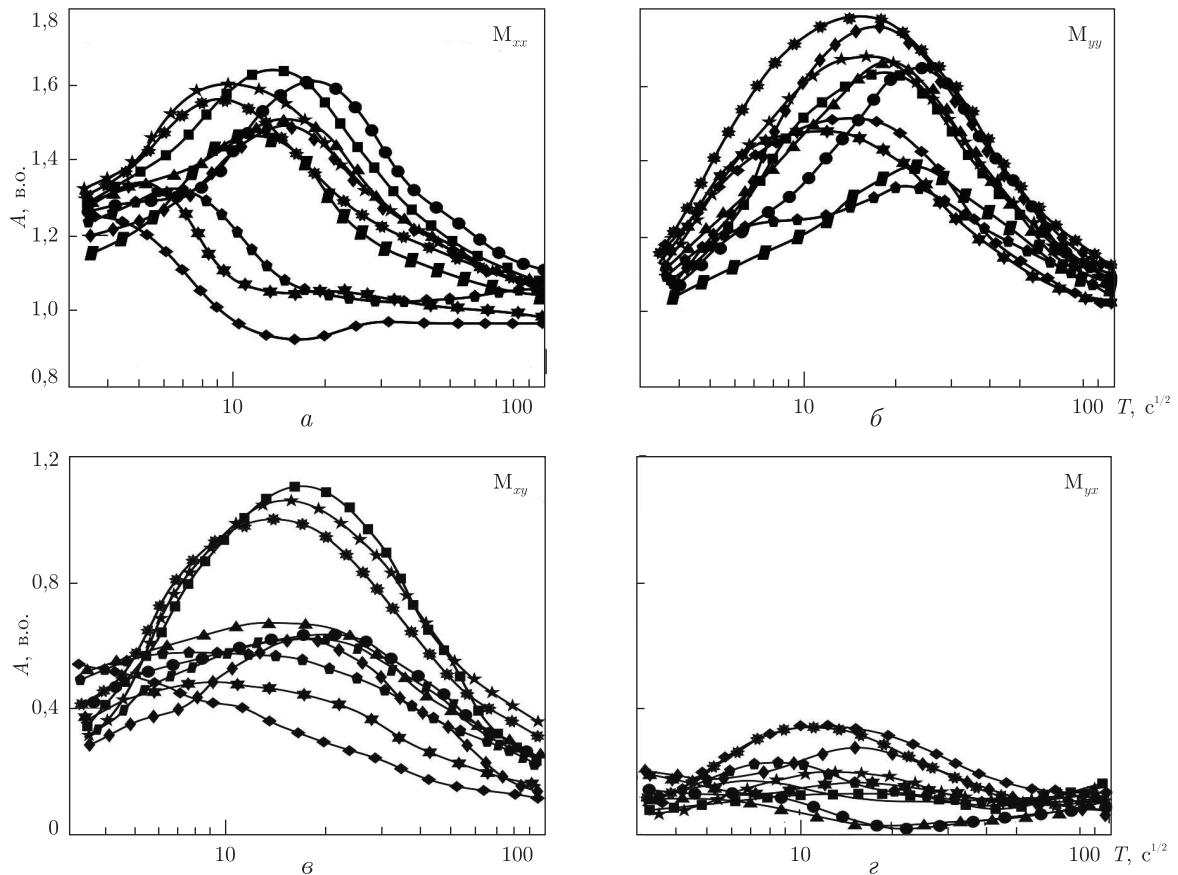


Рис. 3. Компоненти тензора горизонтального аномального поля: головні компоненти —  $M_{xx}$ ,  $M_{yy}$  (а, б), додаткові —  $M_{xy}$ ,  $M_{yx}$  (в, г)

частині ДДЗ [10], виявлено області розуцільнення аргілітів глибше 5 км, аж до кристалічного фундаменту, на фоні підвищеної магнітної сприйнятливості. Це створює передумови для утворення на цих глибинах і у верхній частині кристалічного фундаменту умов для скупчення вуглеводнів.

Завдяки сучасному методу обробки експериментальних синхронних МТ/МВ зондувань з нормуванням на геомагнітну обсерваторію “Київ” були отримані глибинні геоелектричні параметри в північній частині ДДЗ, незважаючи на значні електромагнітні перешкоди в деяких пунктах. Якісний аналіз отриманого матеріалу показав, що мінімуми кривих  $\rho_k$ , розгортання векторів індукції, максимуми амплітуд горизонтального відгуку вказують на присутність провідників у північній частині ДДЗ.

За останні роки ІГФ ім. С. І. Субботіна НАН України спільно з УкрНДМІ НАН України проведено значну кількість сучасних аудіомагнітотелуричних і геоелектричних зондувань у центральній і південній частинах ДДЗ. Нагромаджений матеріал потребує сучасних методів інтерпретації, зокрема побудови тривимірних моделей. Продовження цих досліджень дає змогу більш детально визначити будову провідників і виявити нові геоелектричні структури в земній корі та верхній мантії, що в свою чергу дозволить по-новому оцінити будову та природу геологічних структур північної частини ДДЗ.

## Цитована література

1. *Белявский В. В., Бурахович Т. К., Кулик С. Н., Сухой В. В.* Электромагнитные методы при изучении Украинского щита и Днепровско-Донецкой впадины. – Киев: Знание, 2001. – 227 с.
2. *Бурахович Т. К., Кулик С. Н., Логвинов И. М., Пинчук А. П., Тарасов В. Н.* Геоэлектрическая модель тектоносферы Припятского прогиба // Геофиз. журн. – 1996. – **18**, № 5. – С. 71–79.
3. *Астапенко В. Н.* Земная кора и мантия территории Беларуси по магнитотеллурическим данным. – Минск: Экономпрес, 2012. – 280 с.
4. *Гордиенко В. В.* Тектоносфера Припятской впадины // Геофиз. журн. – 1994. – **16**, № 3. – С. 14–23.
5. *Варенцов Ив. М., Ковачикова С., Куликов В. А., Логвинов И. М., Трегубенко В. И., Яковлев А. Г.* Рабочая группа Kirovograd. Синхронные магнитотеллурические зондирования на западном склоне Воронежского массива // Геофиз. журн. – 2012. – **34**, № 4. – С. 90–107.
6. *Корепанов В. Е., Трегубенко В. И.* Особенности построения и тенденция развития современной аппаратуры для МТ и МВ зондирований // Геофиз. журн. – 2009. – **31**, № 4. – С. 181–190.
7. *Varentsov Iv. M.* Array of simultaneous EM soundings: design, data processing and analysis. Electromagnetic sounding of the Earth's interior (Methods in geochemistry and geophysics, 40). – Amsterdam: Elsevier, 2007. – P. 259–273.
8. *Варенцов Ив. М., Соколова И. Ю., Мартанус Е. Р.* Методика построения передаточных операторов ЭМ поля для массива синхронных зондирований BEAR // Физика Земли. – 2003. – № 2. – С. 30–61.
9. *Обзорная тектоническая карта юго-западной части Восточно-Европейской платформы. М-6 1 : 250 000 / Отв. сост. Ю. А. Арсирий и др.* – Киев: Мин. геологии СССР. УкрНИГРИ, 1984.
10. *Орлюк М. И., Друкаренко В. В.* Физические параметры пород осадочного чехла северо-западной части Днепровско-Донецкой впадины // Геофиз. журн. – 2013. – **35**, № 2. – С. 127–136.
11. *Доненко Г. Н., Ляшкевич З. М., Алехина М. А., Шныков Е. Ф.* Геология и нефтегазоносность Днепровско-Донецкой впадины // Эндогенные процессы и нефтегазоносность. – Киев: Наук. думка, 1991. – С. 67–82.
12. *Омельченко В. Д., Кучма В. Г.* Раздробленность земной коры и нефтегазоносность Днепровско-Донецкого авлакогена // Геодинамика. – 2013. – **15**, № 2. – С. 54–55.

## References

1. *Bielański V. V., Burahovych T. K., Kulik S. N., Suhoy V. V.* Electromagnetic methods in the study of the Ukrainian shield and the Dnieper-Donets Depression, Kiev: Znanie, 2001 (in Russian).
2. *Burahovych T. K., Kulik S. N., Logvinov I. M., Pinchuk A. P., Tarasov V. N.* Geophys. J., 1996, **18**, No 5: 71–79 (in Russian).
3. *Astapenko V. N.* The Earth's crust and mantle in Belarus on magnetotelluric data, Minsk: Ekonompres, 2012 (in Russian).
4. *Gordienko V. V.* Geophys. J., 1994, **16**, No 3: 14–23 (in Russian).
5. *Varentsov Iv. M., Kovalchikova S., Kukikov V. A.* Geophys. J., 2012, **34**, No 4: 90–107 (in Russian).
6. *Korepanov V. E., Tregubenko V. I.* Geophys. J., 2009, **31**, No 4: 181–190 (in Russian).
7. *Varentsov Iv. M.* Array of simultaneous EM soundings: design, data processing and analysis // Electromagnetic sounding of the Earth's interior, Ed. V. Spichak, Amsterdam: Elsevier, 2007: 259–273.
8. *Varentsov Iv. M., Sokolova E. Yu., Martanus E. R.* Phys. Earth., 2003, No 2: 30–61 (in Russian).
9. *Survey tectonic map of the south-western part of the East European Platform. Scale 1 : 250000, Ed. Yu. A. Arsiy et al., Kiev: Min. geology USSR. UkrNIGRI, 1984 (in Russian).*
10. *Orlyuk M. I., Drukarenko V. V.* Geophys. J., 2013, **35**, No 2: 127–136 (in Russian).
11. *Donenko G. N., Lyashkevich Z. M., Alekhine M. A., Shnyukov E. F.* Endogenous processes and petroleum potential, Kiev: Nauk. Dumka, 1991: 67–82 (in Russian).
12. *Omelchnko V. D., Kuchma V. G.* Geodynamics, 2013, **15**, No 2: 54–55 (in Russian).

А. Н. Кушнир

## Синхронные магнитотеллурические и магнитовариационные зондирования северной части Днепровско-Донецкой впадины

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

*Цель работы — изучение геоэлектрического строения литосферы северной части Днепровско-Донецкой впадины с помощью современных методов синхронного электромагнитного зондирования на основе естественных полей. Получены достоверные оценки типперов для периодов геомагнитных вариаций 30–3500 с, горизонтальных МВ откликов 30–10000 с и параметров импеданса от 20 до 10000 с. Качественная интерпретация кривых МТЗ показала, что максимальные глубины залегания верхней кромки проводника находятся в северном окончании ДДВ и южном склоне Брагинско-Лоевского выступа, где изменяются от 40–30 км до 18 км и соответствуют северо-восточному окончанию Припятской аномалии электропроводности. В центральной части ДДВ верхняя кромка проводника залегает на глубинах 3–5 км и объясняется переходной зоной осадочных отложений и разуплотненной части фундамента. На склонах ДДВ глубина залегания верхней кромки проводника составляет 8 км.*

**Ключевые слова:** Днепровско-Донецкая впадина (ДДВ), магнитотеллурическое зондирование (МТЗ), магнитовариационное (МВ) профилирование.

A. M. Kushnir

## Simultaneous magnetotelluric and magnetovariational soundings of the northern part of the Dnieper-Donets trough

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

*The main purpose is to study a geoelectric structure of the lithosphere of the northern part of the Dnieper-Donets trough using modern methods (techniques) of synchronous electromagnetic sounding based on natural fields. Reliable tipper estimates for periods of geomagnetic variations 30–3500 s, horizontal MV responses 30–10000 s and impedance parameters 30–10000 s were obtained. Qualitative interpretation of MTS curves showed that the maximum depths to the upper edge of the conductor are in the northern end of the southern slope of DDT and Bragin-Loyev uplift, which vary from 40–30 km to 18 km and correspond to the north-eastern end of the Prypyat conductivity anomaly. In the central part of the DDT, the upper edge of the conductor occurs at depths of 3–5 km and is explained by the transition zone of sedimentary rocks and the decompacted rocks of the foundation. On the slopes of DDT, the depth of the upper edge of the conductor is 8 km.*

**Keywords:** Dnieper-Donets trough (DDT), magnetotelluric sounding (MTS), magnetovariational (MB) profiling.