



УДК 550.837

Т. К. Бурахович, А. М. Кушнір, Б. І. Ширков

Глибинна будова Інгульського мегаблока за даними геоелектричних досліджень

(Представлено академіком НАН України В. І. Старостенком)

На основі аналізу та інтерпретації експериментальних даних магнітотелуричного зондування й магнітоваріаційного профілювання за допомогою пакета програмного забезпечення тривимірного моделювання низькочастотних електромагнітних полів виявлено серію провідників від поверхні до глибин 2500 м, а також від 5 до 30 км та від 50 до 120 км переважно в центральній частині Інгульського мегаблока, а також в межах Голованівської шовної зони. Аномаліями електропровідності характеризуються окремі частини Ємилівської, Первомайської, Звенигородсько-Братської та Кіровоградської зон розломів.

Останнім часом бурхливий розвиток числових методів розв'язку задач геоелектрики відкриває нові можливості. Моделі електропровідності земної кори і мантії дають новий матеріал для побудови концепцій геологічного розвитку Землі. Так, наявність електропровідних утворень свідчить про присутність певних видів мінералів, процесів графітизації, дегідратації або часткового плавлення гірських порід, інтенсивного тектонічного переміщення блоків, про відповідні тиски і температури, що супроводжують ці процеси, про розвиток ослаблених зон, які нерідко супроводжуються підвищеною сейсмічністю. Безумовно, що вивчення глибинної електропровідності істотно розширює можливості тектонічних і мінералогічних досліджень.

Розраховану об'ємну модель (за допомогою пакета програмного забезпечення тривимірного моделювання низькочастотних електромагнітних полів, використовуюваного в методах магнітотелуричного зондування (МТЗ) та магнітоваріаційного профілювання (МВП) — Mtd3fwd [1]) розподілу питомого електричного опору в земній корі та верхніх шарах верхньої мантії Інгульського мегаблока (ІГМ) Українського щита (УЩ) представлено у вигляді горизонтальних зрізів на різних глибинах.

Методика побудови моделей враховує значні впливи на електромагнітні параметри неоднорідного розподілу інтегральної електропровідності (S) приповерхневого шару. Центральна частина моделі характеризується низькими значеннями та великою мінливістю S

© Т. К. Бурахович, А. М. Кушнір, Б. І. Ширков, 2015

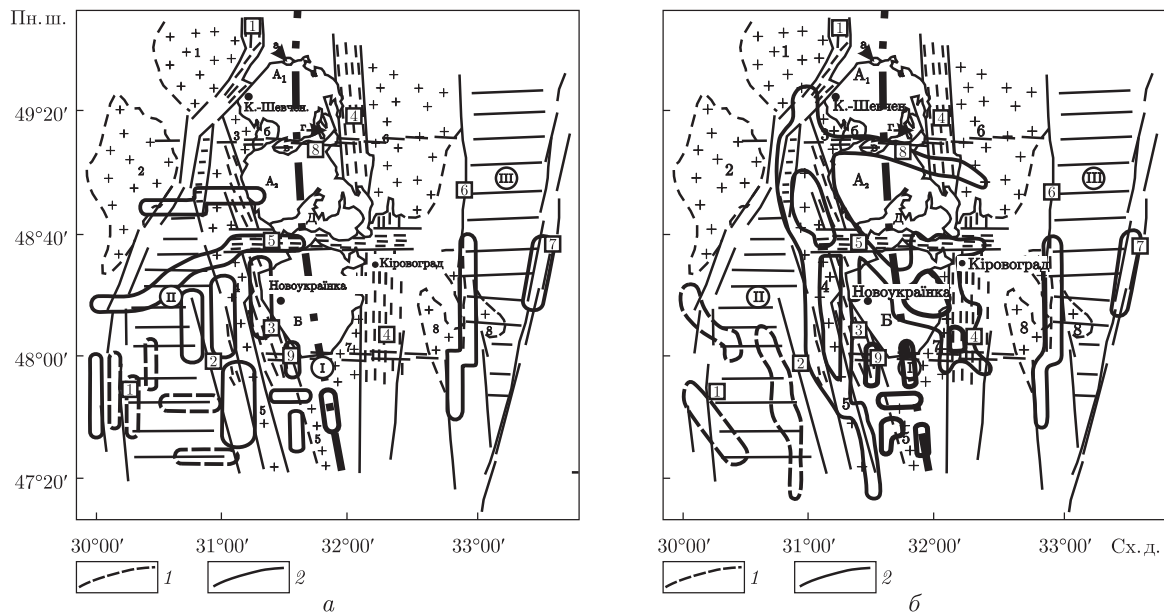


Рис. 1. Розподіл аномалій електропровідності 3D моделі Інгульського мегаблока:

Параметри аномалій: а — $\rho = 10 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ на глибинах до 50–100 м; б — $\rho = 50\text{--}100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ на глибинах від 100 м до 1–2,5 км [1 — очікувані; 2 — дійсні].

Умовні позначення (тут і на рис. 2 й 3): тектонічне районування Інгульського мегаблока УЩ (О. Б. Гінтов, 2005, 568 с.).

Крупні регіональні структури (цифри в кружках): I — міжрегіональний шов Херсон — Смоленськ (осьова лінія), II — Голованівська шовна зона, III — Інгулецько-Криворізька шовна зона.

Зони розломів (цифри в квадратах): 1 — Тальнівська; 2 — Первомайська; 3 — Звенигородсько-Братська; 4 — Кіровоградська; 5 — Субботсько-Мошоринська; 6 — Західноінгулецька; 7 — Криворізько-Кременчуцька; 8 — Смілянська; 9 — Бобринецька.

Корсунь-Новомиргородський плутон: масиви рапаківіподібних гранітів: А₁ — Корсунь-Шевченківський, А₂ — Шполянський; масиви габро-анортозитів: а — Межиріченський, б — Городищенський, в — Смілянський, г — Руськополянський, д — Новомиргородський.

Б — Новоукраїнський масив трахітоїдних гранітів.

Окремі масиви гранітоїдів (позначено хрестиками): 1 — Богуславський, 2 — Уманський, 3 — Шевченківський, 4 — Липнязький, 5 — Вознесенський, 6 — Чигиринський, 7 — Кіровоградсько-Бобринецький, 8 — Долинський

від 5 до 100 См. На півночі моделі спостерігається велика потужність осадків і тому значення S досягають 400 См. На південному схилі УЩ максимальні значення S не перевищують 500 См. Розподіл сумарної поздовжньої провідності першого провідного шару розглядається як апріорні дані.

На фоні такого “нормального” розподілу поверхневих відкладів у Голованівській шовній зоні (ГШЗ) виявлено дві аномалії з субширотною орієнтацією в просторі у самій верхній частині розрізу (потужність (H) із земної поверхні до 50–100 м; $\rho = 10 \text{ Ом} \cdot \text{м}$): перша — загальним розміром 5–10 км на 70 км між Лисянським та Ятранським блоками ГШЗ; друга — загальним розміром 5–20 км на 140 км, яка може бути південно-західним продовженням Субботсько-Мошоринської субширотної зони розломів (ЗР) за системою субширотних провідників (а на рис. 1). Остання добре узгоджується з високопровідними аномаліями в районі Ємилівської та Звенигородсько-Братської (Піщанобрідської) глибини ЗР на заході моделі Кіровоградського рудного району (КРР).

Південніше цієї структури (між $48^{\circ}00'$ та $48^{\circ}40'$ пн. ш.) задовольнити експериментальний результат МТЗ вдалось завдяки системі провідників у вигляді трьох паралельних об'єктів субмеридіонального простягання (завтовшки (d) 10–15 км, завдовжки (l) 30–70 км, $\rho = 10 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ з поверхні до 50–100 м), які не пов'язані між собою гальванічно. Просторово вони збігаються з частинами ЗР: Ємилівської, Первомайської та Звенигородсько-Братської, Західноінгулецької та Криворізько-Кременчуцької.

У південній частині моделі ГШЗ (від $48^{\circ}00'$ пн. ш.) достовірно підібрані тільки два субмеридіональних провідника: перший розташований далі на схід щодо Тальнівської ЗР ($h = 0 \text{ км}$, де h — верхня кромка, $H = <50\text{--}100 \text{ м}$, $d = 5 \text{ км}$, $l = 45 \text{ км}$, $\rho = 10 \text{ Ом} \cdot \text{м}$); другий збігається з частиною Первомайської ЗР ($h = 0 \text{ км}$, $H = <50\text{--}100 \text{ м}$, $d = 15 \text{ км}$, $l = 40 \text{ км}$, $\rho = 10 \text{ Ом} \cdot \text{м}$), який, можливо, гальванічно пов'язаний з провідним об'єктом, було виявлено далі на північ уздовж Первомайської ЗР.

Моделльні розрахунки дозволили виявити кілька типів орієнтації аномалій електропровідності — субширотну та субмеридіональну, що відповідають поверхневим та глибинним аномаліям електропровідності, які закладено в тривимірну модель.

У межах КРР [2] та ГШЗ (див. *б* на рис. 1) виділяється розгалужена мережа провідників з низьким $\rho = 50 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ від 100 м до 2,5 км, які приурочені до окремих частин ЗР: Звенигородсько-Братської, Субботсько-Мошоринської, Смілянської, Лелеківської, Конкської, Ємилівської, Тальнівської, Первомайської та Кіровоградської.

Західна та східна субмеридіональні структури високої електропровідності моделі КРР збігаються за простяганням з Первомайською, Звенигородсько-Братською та Кіровоградською ЗР. Північна субширотна аномальна структура збігається із Смілянською ЗР. Південніше виявлено структуру складної конфігурації, що спостерігається від Ємилівської ЗР уздовж Нерубаївсько-Лозоватської до Центральнокіровоградської ЗР. Ціла серія провідних об'єктів різного простягання приурочена до зчленування Звенигородсько-Братської й Кіровоградської ЗР.

У геоелектричній моделі ГШЗ підібрано в основному субмеридіональні провідники, які просторово збігаються з різними частинами ЗР та гальванічно пов'язані в один ланцюг (з півночі на південь): Тальнівська, осьова частина ГШЗ, а далі Первомайська ($d = 10 \text{ км}$) по всьому її простяганням. І тільки на границі з відкритою частиною УЩ аномалія з лінійної форми перетворюється у систему гальванічно пов'язаних об'єктів субмеридіонального простягання ($d = 5 \text{ км}$, $l = 10\text{--}30 \text{ км}$), що проявилися в зоні зчленування Первомайської, Ємилівської, Звенигородсько-Братської ЗР. Загалом ця аномалія добре поєднується з 3D моделлю КРР [2, 3].

На півдні планшета ГШЗ кілька аномалій мають орієнтацію з північного заходу на південний схід, починаються на перетині Тальнівського з Врадіївським ($H = 1 \text{ км}$) та Гвоздавським ($H = 2,5 \text{ км}$) розломами, вздовж яких і проявляється висока електропровідність ($h = 100 \text{ м}$, $d = 10\text{--}15 \text{ км}$, $l = <120 \text{ км}$, $\rho = 10 \text{ Ом} \cdot \text{м}$). Параметри цих аномалій на тепер потребують уточнення.

На цих глибинах продовжують спостерігатися і провідники ($d = 15 \text{ км}$, $\rho = 10 \text{ Ом} \cdot \text{м}$) Західноінгулецької ЗР (між Чигиринським та Долинським масивами гранітоїдів) та Криворізько-Кременчуцької ЗР Інгулецько-Криворізької шовної зони (ІКШЗ) (див. рис. 1).

Примітною особливістю на глибині від 5 до 20 км є структура ($\rho = 10 \text{ Ом} \cdot \text{м}$) з розмірами $5 \cdot 45 \text{ км}^2$, що розташована у центральній частині Новоукраїнського масиву (а на рис. 2).

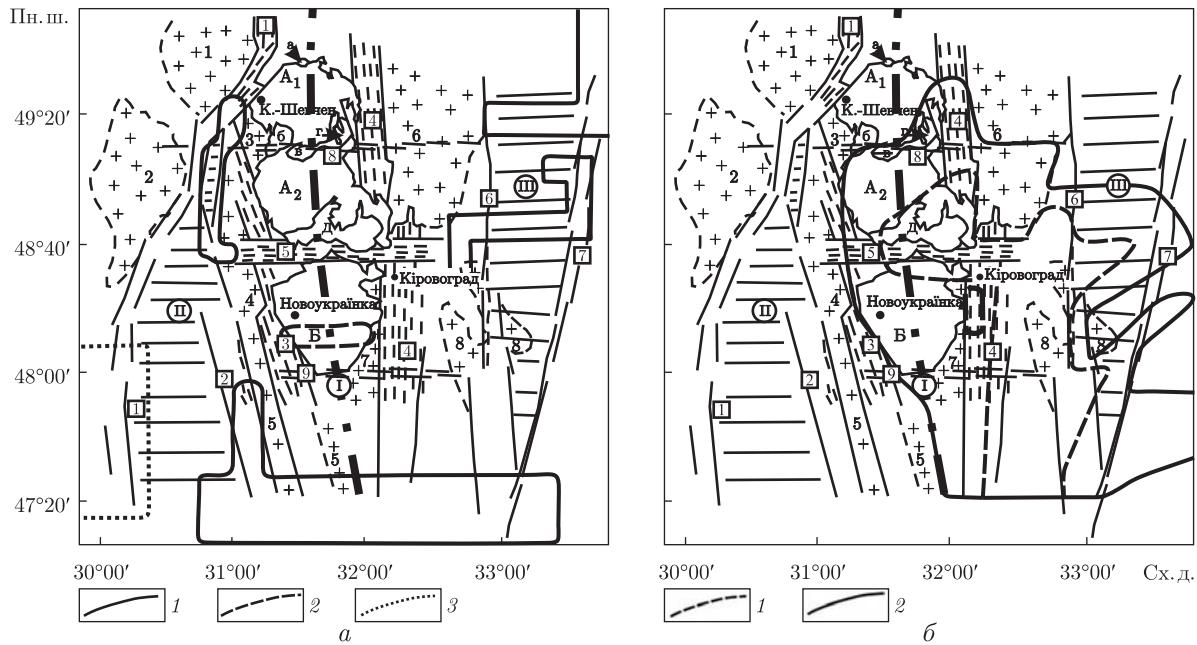


Рис. 2. Розподіл аномалій електропровідності в земній корі 3D моделі Інгульського мегаблока. Параметри аномалій: а — $\rho = 10 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ на глибинах 10–20 км (1), 5–20 км (2), 15–30 км (3); б — $\rho = 10 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ (1); $\rho = 50 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ (2) на глибинах 20–25 км

На півночі ІКШЗ між Криворізько-Кременчуцькою і Західноінгулецькою ЗР [4] локальні об'єкти залягають в інтервалі глибин від 10 до 20 км з $\rho = 1\text{--}30 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ (див. а на рис. 2). Вони є наче продовженням Субботсько-Мошоринської та Смілянської субширотних зон.

На півдні від ІГМ Кіровоградська аномалія ($h = 10 \text{ км}$, $H = 10 \text{ км}$, $\rho = 10 \text{ Ом} \cdot \text{м}$) виділяється у вигляді складної субширотної зони, яка вже знаходиться в межах Причорноморської западини. Найбільш електропровідні частини з $\rho = 5 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ розміщуються в області Первомайської та Криворізько-Кременчуцької ЗР. Якщо в кордонах УЩ Первомайська зона відповідає провіднику з поверхні, то в межах Причорноморської западини вона характеризується високою електропровідністю тільки з глибин 10 км.

В інтервалі глибин з 10–15 км до 20–30 км у моделі ГШЗ закладено кілька областей високої електропровідності (див. а на рис. 2): на півночі в осевій частині ГШЗ та Первомайської ЗР; на півдні Первомайської ЗР та на півдні в зоні Тальнівського розлому та його найближчого оточення.

В інтервалі глибин 20–25 км розподіл значень ρ збігається з параметрами регіональної Кіровоградської аномалії (тіло діаметром $\sim 230 \text{ км}$ [4]). Вона фіксується тільки у вигляді двох контурів: внутрішнього з $\rho = 10 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ та зовнішнього з $\rho = 50 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Перехід від зовнішнього до внутрішнього контуру приурочений до Кіровоградського глибинного розлому практично по всій довжині у границях УЩ. Виключенням є Субботсько-Мошоринська ЗР, уздовж якої відгалужується її субширотна частина. Субширотні границі провідної структури приурочені до Смілянської (на півночі), Субботсько-Мошоринської, Лелеківської, Глодівської, Новоколятинівської і Мар'ївської зон (див. б на рис. 2).

Західний кордон Кіровоградської аномалії ($h = 20\text{--}25 \text{ км}$, $\rho = 10\text{--}50 \text{ Ом} \cdot \text{м}$) розташований в зоні давнього шва Херсон — Смоленськ, а в інтервалі $h = 25\text{--}30 \text{ км}$, $\rho = 50 \text{ Ом} \cdot \text{м}$



Рис. 3. Розподіл аномалій електропровідності в земній корі та верхній мантії 3D моделі Інгільського мегаблока.

Параметри аномалій: *a* — $\rho = 10 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ на глибинах 25–30 км (1); *б* — $\rho = 10 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ на глибинах 50–120 км (1)

відповідає Кіровоградському глибинному розлому, сама ж аномалія охоплює територію, що включає ІКШЗ.

Регіональна Кіровоградська аномалія чітко виявилася в інтервалі глибин 25–30 км і являє собою витягнуту з півдня на північ-північний схід структуру із просторовими розмірами від 50 до кількох сотень кілометрів і тільки на півдні УЩ змінює своє простягання на субширотне уздовж Конкської ЗР (*a* на рис. 3).

Існування кількох локальних провідних верхньомантіїних неоднорідностей можна припустити в інтервалі глибин 50–120 км: у зоні перетину Кіровоградської та Субботсько-Мошоринської ЗР; уздовж трансекта Херсон — Смоленськ. З більшою впевненістю припустимо існування мантіїного провідника у південній частині КРР. Його північна границя повинна проходити південніше $47^{\circ}20'$ пн. ш. На схід від 32° сх. д. вона доходить до $47^{\circ}40'$ пн. ш. (див. *б* на рис. 3). Максимальне поширення на північ спостерігається вздовж Кіровоградської аномалії, в зоні глибинних розломів — Західноінгулецького та Кіровоградського [5].

Таким чином, додаткове використання методу МТЗ дало змогу уточнити модель земної кори, що була побудована тільки за даними МВП. Це пояснюється різними залежностями розподілу імпедансів (МТЗ) та індукційних параметрів (МВП) від глибини залягання провідників. Якщо в МТЗ глибина залягання провідного шару визначається затуханням електромагнітного поля залежно від періоду, то в МВП глибина залягання визначається просторовим градієнтом МВП. Комбінація цих методів дозволяє більш точно завдяки спостережуваним експериментальним даним побудувати модель розподілу питомого опору в рамках тривимірного середовища.

1. Mackie R. L., Smith J. T., Madden T. R. Three dimensional electromagnetic modeling using finite difference equations: the magnetotelluric example // Radio Sci. – 1994. – **29**. – P. 923–935.
2. Кировоградский рудный район / Под ред. В. И. Старостенко, О. Б. Гинтова. – Киев: РПЦ “Галактика”, 2013. – 500 с.
3. Ингульский мегаблок Украинского щита (глубинная геоэлектрическая модель и полезные ископаемые) / Под ред. А. В. Анциферова, Е. М. Шеремета. – Донецк: Изд-во Ноулидж (Дон. отд-ние), 2014. – 180 с.
4. Кулик С. Н., Бурахович Т. К. Трехмерная геоэлектрическая модель земной коры Украинского щита // Физика Земли. – 2007. – № 4. – С. 21–27.
5. Николаев И. Ю., Бурахович Т. К., Шеремет Е. М. Объемная геоэлектрическая модель Кировоградского рудного района центральной части Украинского щита // Геофиз. журн. – 2013. – **35**, № 4. – С. 127–139.

*Институт геофізики ім. С. І. Субботіна
НАН України, Київ*

Надійшло до редакції 12.11.2014

Т. К. Бурахович, А. Н. Кушнир, Б. И. Ширков

Глубинное строение Ингульского мегаблока по данным геоэлектрических исследований

На основе анализа и интерпретации экспериментальных данных магнитотеллурического зондирования и магнитовариационного профилирования с помощью пакета программного обеспечения трехмерного моделирования низкочастотных электромагнитных полей выявлено серию проводников от поверхности до глубин 2500 м, а также от 5 до 30 км и от 50 до 120 км преимущественно в центральной части Ингульского мегаблока, а также в пределах Голованевской шовной зоны. Аномалиями электропроводности характеризуются отдельные части Емилевской, Первомайской, Звенигородско-Братской и Кировоградской зон разломов.

T. K. Burakhovych, A. M. Kushnir, B. I. Shyrkov

Deep structure of the Ingul megablock according to geoelectric researches

On the basis of the magnetotelluric sounding and the magnetovariation profiling experimental data the analysis and interpretation using the software system of three-dimensional modeling of the low-frequency electromagnetic field, a series of the electric conductors from the surface to the depths of 2500 m, and from 5 to 30 km and from 50 to 120 km is revealed mainly in the central part of the Ingul megablock and within the Golovanivsk suture zone. The conductivity anomalies characterize separate parts of the Yemylivska, Pervomayska, and Zvenigorodsko-Bratska and Kirovogradska fault zones.