

ГЕОФІЗИКА

ВПЛИВ ПРИПОВЕРХНЕВИХ ГЕОЛОГІЧНИХ НЕОДНОРІДНОСТЕЙ ТА СПОСОБИ ЙОГО ПОСЛАБЛЕННЯ ПРИ ЕЛЕКТРОМЕТРИЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

Я.С. Сапужак, О.Я. Сапужак, О.В. Сирожко

(Карпатське відділення Інституту геофізики ім.С.І.Субботіна НАН України)

Резюме. За допомогою математичного моделювання електрометричних спостережень над комплексами еліпсоїдів обертання на різних глибинах досліджено особливості їх аномалій на кривих електричних зондувань і профілювання та розроблено способи ефективного придушення впливу приповерхневих неоднорідностей.

Вступ

Будь-яке геофізичне поле в реальних геологічних умовах слід розглядати як суму корисного сигналу та завад [1,2], суттєві відмінності характеру і природи яких породжують різні схеми їх класифікації. Найбільш розповсюджений поділ завад на активні, тобто змінні у часі, і пасивні, пов'язані переважно з геологічними неоднорідностями верхньої частини розрізу або рідше технічними підземними спорудами.

1. Аналіз складових результатів польових вимірів

При аналізі інформаційних систем найбільш широко вживаються і детально вивчаються терміни "корисна інформація" і "завада (шум)", тобто "всьяке постороннє збурення, яке діє в системі передачі і перешкоджає правильному прийому сигналів" [3].

В розвідувальній геофізиці покищо немає такого чіткого поділу цих понять внаслідок зміни їх характеру в залежності від поставлених геологічних задач. Корисною звичайно вважається інформація, що дає змогу визначити параметри об'єкту досліджень, а завадами – всі фактори, які ускладнюють виміри геофізичного поля та інтерпретацію отриманих даних.

В загальному випадку, користуючись адитивною моделлю геофізичного поля, довільний його параметр, що вимірюється A_v , можна зобразити як суму корисного сигналу A і завади A_z [4]:

$$A_v = A + A_z.$$

В свою чергу корисний сигнал також можна розкласти на регіональну A_p і локальну A_n складові, тобто:

$$A_v = A_p + A_n + A_z.$$

Розглянемо детальніше наведені елементи за винятком завад, які також є складним об'єктом і можуть бути предметом окремого дослідження, що виходить за межі цієї публікації.

Регіональна складова, хоч і залежить від багатьох фізико-геологічних особливостей розрізу (структури, літології та мінералогічного складу порід, їх пористості, водонасиченості і т.п.), є об'єктивною його характеристикою, постійною у часі. В просторі (або вздовж профілю) величина фону може бути константою (наприклад, в однорідному і горизонтально-шаруватому розрізах) або плавно чи ступінчато змінюватись. В цьому випадку говорять про наявність регіональних аномалій або тренду, які виступають звичайно об'єктами досліджень при вивченні глибинної будови та загальних закономірностей її змін.

Локальні аномалії викликаються звичайно обмеженими за розмірами неоднорідностями розрізу (рудними або безрудними тілами, тріщинуватими і обводненими зонами, карстовими порожнинами і т.п.). Тому вони мають першочергове значення при геологічному картуванні та вирішенні низки пошуково-розвідувальних та інженерно-геологічних задач. І для регіональних, і для локальних аномалій можна виділити їх осереднені значення і відхилення від них у кожному пункті.

Звичайно виділення регіональних (тренд-аналіз) і локальних аномалій ведеться одночасно, оскільки вони є результатом поділу виміряного поля на згадані вище дві складові і подальша їх класифікація на корисний сигнал і завади вирішується в залежності від поставленої геологічної задачі. Але, якщо корисною може бути будь-яка складова, то завадами справедливо можна вважати

лише верхні (приповерхневі) неоднорідності при дослідженні глибинних тіл, які ніяк не будуть заважати вивченню верхньої частини розрізу.

Як уже згадувалось у вступі, геологічні неоднорідності, які часто може і не зовсім виправдано називають завадами, виступають переважно як пасивні, що залежать тільки від просторового положення, фактори. Останні найчастіше викликаються горизонтальними неоднорідностями верхніх горизонтів або корінних порід, їх рельєфом чи денної поверхні або техногенними об'єктами (трубопроводами, лініями зв'язку та ін.). Інколи до геологічних завад зараховують і протяжні горизонти високого або низького опору, наприклад, поверхневі наноси або електромагнітні екрани, хоча на наш погляд вони є елементами фундаментальної горизонтально-шаруватої моделі та виступають основним об'єктом досліджень при електричних зондуваннях.

Слід зазначити, що тут не розглядаються відчутні лише при тривалих режимних спостереженнях зміни електропровідності та інших параметрів розрізу, пов'язані з підготовкою землетрусів, зсувними явищами та іншими геологічними процесами.

Тому в загальному випадку вважається, що геологічні неоднорідності в часі не змінюються і розкладаються на регіональні і локальні аномалії. Майже при всіх структурно-пошукових та глибинних геофізичних спостереженнях питання послаблення приповерхневих геологічних завад і тим самим покращення співвідношення корисний сигнал / шум мають першочергове значення і тому нижче розглянемо детальніше їх особливості.

2. Математичне моделювання електрометричних спостережень над складними комплексами неоднорідностей

На прикладі моделі однорідного півпростору з неоднорідностями, розташованими на різних рівнях, розглянемо особливості і вплив верхніх тіл на результати дослідження нижніх.

На відміну від майже традиційних у таких випадках найпростіших кулеподібних включень нами вибрані ближчі до реальних геологічних умов об'єкти у вигляді стиснутих еліпсоїдів обертання. Для розрахунку електричного поля постійного струму у провідному півпросторі з довільними системами таких тіл скористаємося розробленими нами раніше алгоритмами і програмами, що базуються на методі граничних елементів (МГЕ) [5,6]. Завдяки апроксимації

поверхні неоднорідностей криволінійними елементами та переходу від об'ємних до поверхневих інтегралів МГЕ дозволяє описувати та ефективно обчислювати потенціал і густину струму у середовищі з довільними за формою і провідністю об'ємними включеннями. При розрахунках змодельовано спостереження методами вертикальних електричних зондувань і профілювання у полі довгої живильної лінії АВ, в тому числі і з використанням площинних систем, характерних для останнього десятиріччя.

2.1. Особливості кривих електричних зондувань над двома еліпсоїдами

Розглянемо систему, що складається з двох стиснутих еліпсоїдів обертання з різними розмірами та рівнями залягання (рис. 1,а). При цьому глибина розташування центру верхнього тіла прийнята за одиницю ($h_1 = 1$), через яку виражаються всі інші розміри, а нижнього – змінювалась від $h_2 = 2$ до $h_2 = 4$ для оцінки граничного співвідношення h_2/h_1 , при якому на кривих вертикальних електричних зондувань (ВЕЗ) неоднорідності починають виділятися окремо. Зазначимо також, що тут і надалі розміри еліпсоїдів, тобто їх велика a_i та мала b_i півосі пов'язані з глибиною залягання:

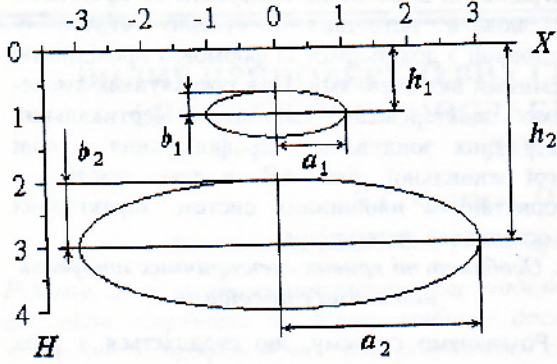
$$a_i = h_i, b_i = h_i / 3, \quad i = 1, \dots, K. \quad (1)$$

де K – кількість тіл, що досліджуються, в даному випадку $K = 2$.

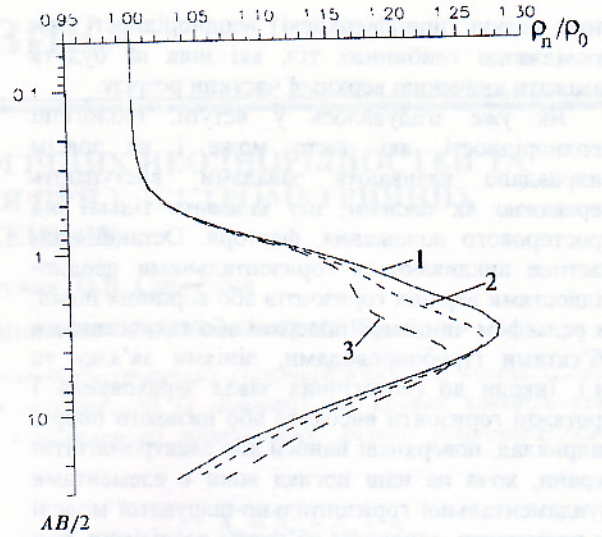
Як показують результати розрахунків для випадку, коли координати x та y центрів зондувань і обидвох включень співпадають (рис. 1,б), аномалії на кривих ВЕЗ розділяються, починаючи з $h_2/h_1 = 3$, причому останні повністю співпадають з даними диференціальних двосторонніх зондувань [7]. Порівнюючи ці результати з отриманими раніше над двома кулями [8], легко дійти до висновку, що останні розділяються значно гірше, лише при $h_2/h_1 > 5$. Це свідчить про досить суттєвий вплив форми неоднорідностей при значному (в декілька разів) перевищенні їх горизонтальних розмірів над вертикальними, а в цілому – про кращу диференціацію лінзовидних тіл у порівнянні з ізометричними.

Зауважимо, що на цьому рисунку, а також на всіх наступних позірний опір ρ_n пронормовано на питомий опір півпростору ρ_0 .

При зміщенні Δx_n центру верхнього еліпсоїда вздовж осі X , що співпадає з напрямком лінії АВ, неоднорідності починають сильніше розділятися, особливо на кривих диференціальних зондувань, на яких при $\Delta x_n \geq 2.0$ включення проявляються

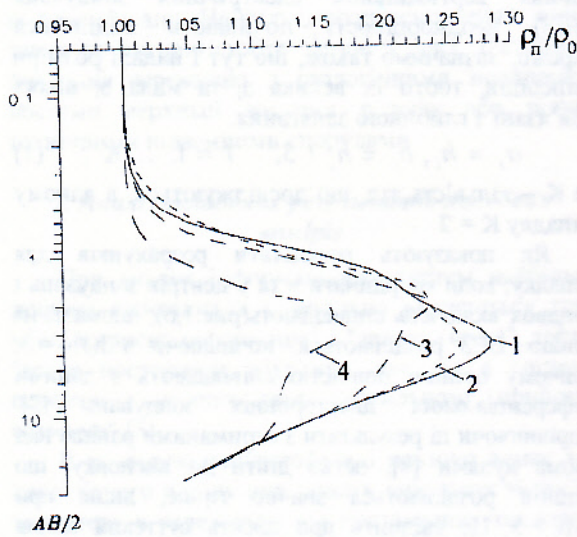


а

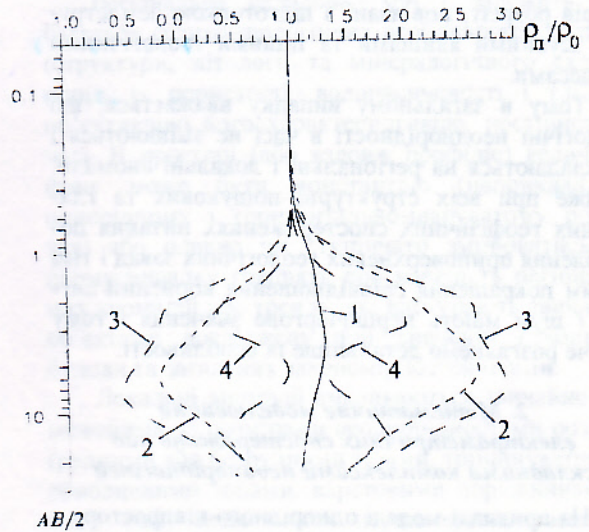


б

Рис. 1. Модель у вигляді двох еліпсоїдів обертання (а) та криві ВЕЗ над ними при різних h_2 ($h_1 = 1.0$):
1 - $h_2 = 2.5$; 2 - 3.0 ; 3 - 4.0



а



б

Рис. 2. Криві вертикальних (а) і двосторонніх диференціальних (б) зондувань над двома еліпсоїдами при зміщенні Δx_0 верхнього вздовж осі X: 1 - $\Delta x_0 = 0.0$; 2 - 0.5 ; 3 - 1.0 ; 4 - 2.0

вже як окремі тіла (рис. 2). Цікаво, що зміщення Δx_0 центру верхнього еліпсоїда в напрямку осі Y, тобто перпендикулярному до лінії АВ, різко погіршує розділення аномалій (рис. 3). Однак, найкраще тіла розділяються на кривих звичайних і, особливо, диференціальних зондувань при зміщенні Δx_0 їх центру вздовж осі X (рис. 4).

Для фіксації латеральних неоднорідностей потрібні площинні спостереження, які доцільніше реалізовувати профілюванням методом середнього градієнту (установка $A \rightarrow MN \leftarrow B$, де MN - приймальна ланка) з використанням планшетної зйомки. Розміри живильної лінії необхідно вибрати на підставі даних зондувань сумірними або більшими розносу АВ нижнього максимуму.

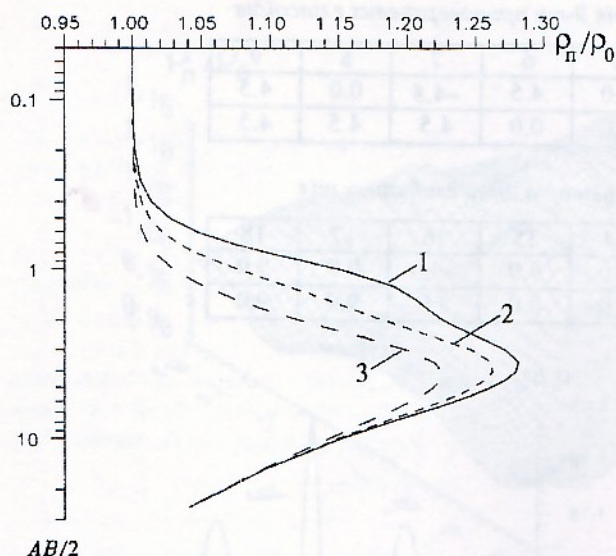


Рис. 3. Криві вертикальних зондувань над двома еліпсоїдами при зміщенні Δy_0 верхнього вздовж осі Y :
1 - $\Delta y_0 = 0.0$; 2 - 0.5 ; 3 - 1.0

Враховуючи, що нижче розглядаються такі спостереження для більш загальних і складніших комплексів неоднорідностей, тут на них не зупиняємось.

2.2. Приклади послаблення впливу приповерхневих неоднорідностей

Розглянемо більш складний дворівневий комплекс з 6-ти еліпсоїдів. Їх розміри, як і в попередньому випадку, визначаються виразом (1) при $K = 6$. Центри всіх тіл розташовані вздовж осі X (тобто $y_i = 0$, $i = 1, \dots, 6$), причому верхні знаходяться на глибинах $-h_i = 1$, $i = 1, 2, 3$ з координатами $x_1 = -4.5$, $x_2 = 0.0$, $x_3 = 4.5$ відповідно, а нижні $-h_i = 3$, $i = 4, 5, 6$ та $x_4 = -9.0$, $x_5 = 0.0$, $x_6 = 9.0$. Основним завданням тут була розробка способів придушення завад від приповерхневих неоднорідностей за даними площинного електропрофілювання. Тому на початку були розраховані аномалії окремо від верхніх і нижніх включень та сумарні їх значення з використанням установки $A \rightarrow MN \leftarrow B$ при $AB = 40$ ($A(-20;0;0)$, $B(20;0;0)$) та $MN = 0.5$ (рис. 5). Такий суто теоретичний розрахунок, нереальний для практичних досліджень, дозволяє не тільки якісно, але й кількісно оцінити ефективність способів боротьби з геологічними завадами. Так, зокрема, найбільш дієвим виявилось збільшення при

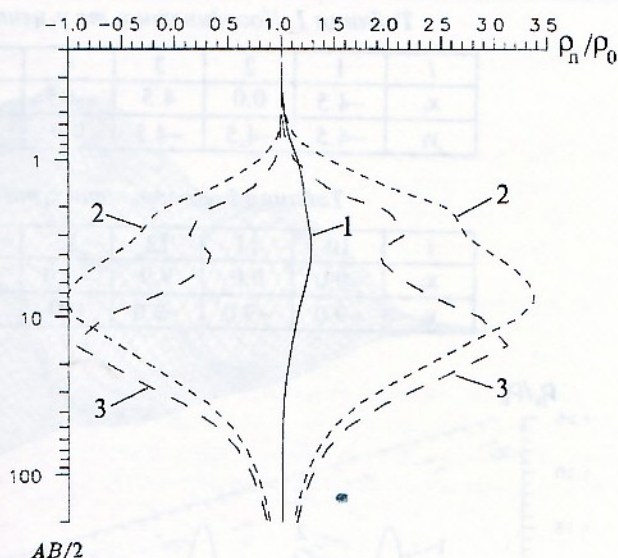


Рис. 4. Криві двосторонніх диференціальних зондувань над двома еліпсоїдами при зміщенні центру зондувань вздовж осі X на відстань Δx_0 :
1 - $\Delta x_0 = 0.0$; 2 - 1.0 ; 3 - 2.0

спостереженнях розмірів приймальної лінії. Як свідчить рис. 6, а ступінь впливу приповерхневого комплексу залежить від розмірів MN і, коли остання перевищує глибину досліджень на третину ($MN = 4$ при $h_i = 3$), крива максимально наближається до розрахованої тільки для нижніх тіл, відхиляючись не більше як на 10–15 % (рис. 6, б).

Отже, порівняно простим прийомом збільшення приймальної лінії, цілком доступним у реальних польових умовах, можна досить ефективно розділяти аномалії на приповерхневі і глибинні та суттєво зменшувати вплив перших. І хоча для цього потрібно провести спостереження як мінімум з двома різними приймальними лініями, в принципі це помітно не ускладнює методику спостережень.

Для оцінки ефективності цього способу проведено розрахунки і для більш складного комплексу з 18-ти еліпсоїдів, розташованих на двох глибинах: $h_i = 1$, $i = 1, \dots, 9$ та $h_i = 3$, $i = 10, \dots, 18$. Координати x , та y , центрів верхніх тіл наведено у табл. 1, а нижніх – у табл. 2. Нагадаємо, що розміри включень (півосі) визначаються виразом (1) при $K = 18$. Як і для комплексу з 6-ти неоднорідностей було змодельовано спостереження методом серединного градієнту при $AB = 40$, але використано планшетну зйомку по густій (через 1) сітці та оптимальну величину приймальної лінії $MN = 4$. Це

Таблиця 1. Координати x_i та y_i центрів 9-ти приповерхневих еліпсоїдів

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9
x_i	-4.5	0.0	4.5	-4.5	0.0	4.5	-4.5	0.0	4.5
y_i	-4.5	-4.5	-4.5	0.0	0.0	0.0	4.5	4.5	4.5

Таблиця 2. Координати x_i та y_i центрів 9-ти глибинних тіл

i	10	11	12	13	14	15	16	17	18
x_i	-9.0	0.0	9.0	-9.0	0.0	9.0	-9.0	0.0	9.0
y_i	-9.0	-9.0	-9.0	0.0	0.0	0.0	9.0	9.0	9.0

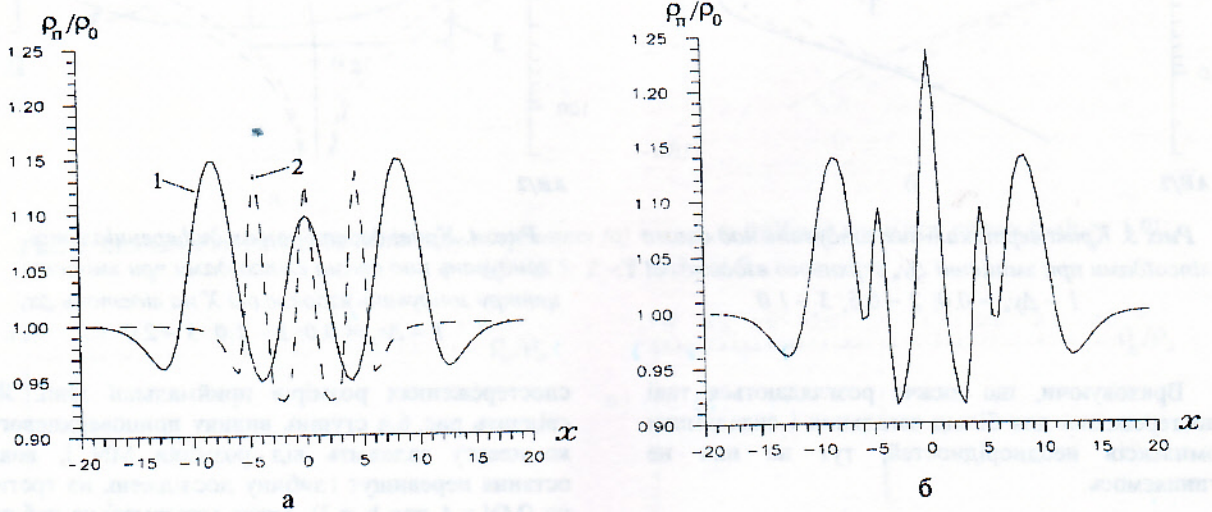


Рис. 5. Криві електропрофілювання установкою $A \rightarrow MN \leftarrow B$, $AB = 40$, $MN = 0.5$ над комплексом з трьох (а): 1 – глибинних, 2 – поверхневих; та всіх шести (б) тіл

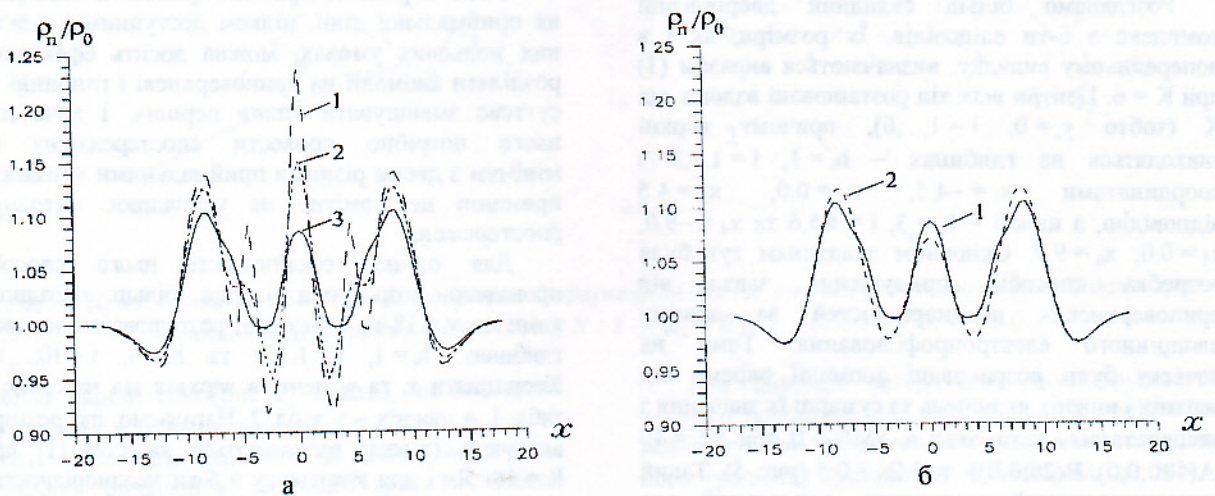


Рис. 6. Криві електропрофілювання установкою $A \rightarrow MN \leftarrow B$, $AB = 40$ над комплексом із 6-ти еліпсоїдів (а) з використанням різних розмірів приймальних ліній MN : 1 – 0.5, 2 – 2.5, 3 – 4; та співставлення кривих (б), отриманих при $MN = 4$, над всіма 6-ма тілами (1) і над трьома нижніми (2)

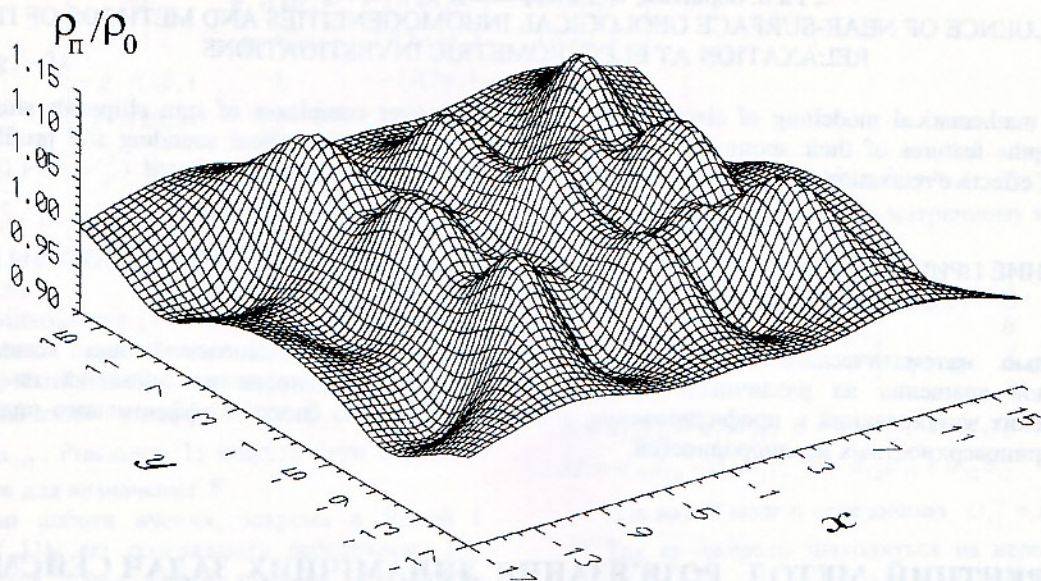


Рис. 7. Розподіл позірнього опору при електропрофілюванні установкою $A \rightarrow MN \leftarrow B$, $AB = 40$, $MN = 4$ над комплексом 9 приповерхневих ($h_i = 1$, $i = 1, \dots, 9$) і 9 глибинних ($h_i = 3$, $i = 10, \dots, 18$) тіл

дозволило побудувати просторову картину розподілу позірнього опору (рис. 7), на якій чітко виділяються всі 9 глибинних тіл, незважаючи на наявність над ними своєрідного "екрану" – цілої системи приповерхневих неоднорідностей.

Висновки

Включення у вигляді стиснутих еліпсоїдів заданими електричними зондуваннями диференціюються краще, ніж ізометричні тіла.

Найбільш простим і ефективним способом розділення аномалій на приповерхневі і глибинні є спостереження з використанням приймальних ліній різної довжини.

Оптимальним для придушення приповерхневих завад (на 85–90%) є розмір MN дещо більший за глибину залягання неоднорідностей, що вивчаються.

Для дослідження латеральних включень раціонально використовувати площинні спостереження, зокрема, метод серединного градієнта з використанням планшетних зйомок в центральній частині лінії AB .

Література

1. Тархов А.Г., Бондаренко В.М., Никитин А.А. Принципы комплексирования в разведочной геофизике. – М.: Недра, 1977. – 221 с.

2. Электроразведка. Справочник геофизика / Под ред. А.Г. Тархова. – М.: Недра, 1980. – 518 с.
3. Харкевич А.А. Борьба с помехами. – М.: Наука, 1965.
4. Хмелевской В.К. Электроразведка. – М.: Изд-во МГУ, 1980. – 422 с.
5. Сапужак О.Я. Програмні засоби дослідження геоелектричних моделей методом граничних елементів // Вісник Державного університету "Львівська політехніка", "Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології". – Львів: ДУ "Львівська політехніка", 1998. – №351. – С. 149–154.
6. Grytsko E., Sapuzhak O.. Application of boundary element technique to mathematical modelling of 2- and 3-D geoelectric inhomogeneities // Acta geophysica Polonica. – Warszawa: IGF PAN, 2000. – Vol. XLVIII, № 3. – P. 377–394.
7. Сапужак Я.С. Дивергентная электроразведка. – Киев: Наукова думка, 1977. – 180 с.
8. Сапужак О.Я. Математичне моделювання методом граничних елементів у тривимірних задачах геоелектрометрії / Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 04.00.22 – геофізика. – Львів: Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, 1999. – 150 с.

Ya.S. Sapuzhak, O.Ya. Sapuzhak, O.V. Syrojezhko
INFLUENCE OF NEAR-SURFACE GEOLOGICAL INHOMOGENEITIES AND METHODS OF ITS
RELAXATION AT ELECTROMETRIC INVESTIGATIONS

Summary

Using the mathematical modelling of electrometric observations over complexes of spin ellipsoids situated on various depths features of their anomalies are investigated on curves of electrical sounding and profiling and methods of effective relaxation of the influence of near-surface inhomogeneities are elaborated.

Я.С. Сапужак, О.Я. Сапужак, О.В. Сыроежко
ВЛИЯНИЕ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ И СПОСОБЫ ЕГО
ОСЛАБЛЕНИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Резюме

С помощью математического моделирования электрометрических наблюдений над комплексами эллипсоидов вращения на различных глубинах исследовано особенности их аномалий на кривых электрических зондирования и профилирования, а также разработано способы эффективного подавления влияния приповерхностных неоднородностей.