

ГЕОФІЗИКА

УДК 550.838

П. Гришук, канд. геол. наук, доц.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ МАГНІТНОГО ПОЛЯ
ЗА ДАНИМИ ПРОФІЛЬНИХ ТА ПЛОЩОВИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

В статті наведено порівняльний аналіз розв'язання оберненої задачі магніторозвідки за даними профільних та площових спостережень. На реальних магнітних аномаліях аналізується достовірність інтерпретації методом порівняння з оптимізацією параметрів джерела. Виконаний аналіз свідчить, що інтерпретація профільних спостережень ефективна для дайкових тіл, а інверсія площових даних дає більш достовірні результати для пластових геологічних об'єктів.

In this paper the comparative analysis of solution of inverse problem of magnetics from profile data and area observations is resulted. For real magnetic anomalies the interpretation reliability due to method of comparison with optimization of source parameters is analyzed. Realized analysis testifies that interpretation of profile observation more effective for dike bodies and the inversion from area data gives more than reliable results for layered geological objects.

Вступ. В теперішній час існує багато методів інтерпретації даних магнітометрії. При інтерпретації локальних магнітних аномалій найбільш розповсюдженими є методи порівняння [3], підбору [1], сіток [8]. Ці підходи дозволяють виконувати вирішення оберненої задачі магніторозвідки як на основі профільних, так і площових спостережень аномального магнітного поля.

В роботі Б. Дарракотта [7] було розглянуто питання вибору між двовимірною та тривимірною моделями при інтерпретації гравітаційних аномалій. Огляд літератури виявив відсутність аналізу цього питання при вирішенні оберненої задачі магніторозвідки. Тому в даній статті на реальних прикладах зроблено спробу порівняння результатів інтерпретації аномалій магнітного поля, отриманих за результатами профільних та площових спостережень.

Суть досліджень. В роботі [4] представлений метод 2,5-вимірної інтерпретації магнітних аномалій в класі призматичних тіл. Досвід застосування цієї розробки при вирішенні практичних задач виявив певну залежність параметрів моделі від вибору регіональної складової магнітного поля. З метою уникнення цього недоліку пізніше було застосовано спосіб осереднення для виділення спостережених та розрахунку модельних аномалій [2]. У цьому випадку порівняння експериментальних та теоретичних полів виконується при однаковому радіусі осереднення. Такий підхід покращує якість аналізу магнітних полів, що було підтверджено результатами інтерпретації низки аномалій Волино-Подолії.

Вихідними даними в методі порівняння, який є досить розповсюдженим в практиці інтерпретації потенціальних полів і реалізований в роботах [2, 4], є спостережене поле на площі робіт, відношення поперечних розмірів виділеної аномалії до поздовжніх, географічна широта ділянки робіт та радіус осереднення. Пізніше в програму було добавлено алгоритм нелінійної оптимізації, що дозволило уточнювати знайдену магнітну модель.

Наведемо приклад 2,5-вимірної інтерпретації аномалії магнітного поля, спричиненої дайкоподібним тілом, на ділянці Яцковичи Українського щита (рис. 1). Інтерпретація виконана за методикою, розглянутою в роботі [4]. Тут за даними профільних спостережень вирішена обернена задача в класі призматичних об'єктів із застосуванням оптимізації. Інтерпретація виконувалася методом порівняння і складалася з двох етапів. На першому етапі з набору базових призматичних моделей знаходилися джерело магнітного поля, що створювало магнітну аномалію, близьку до спостереженої. На другому етапі виконувалася оптимізація геометричних і фізичних параметрів за середньоквадратичним відхиленням спостереженого і модельного полів. Достовірність результатів інтерпретації магнітної аномалії оцінювалася порівнянням параметрів отриманого тіла і даних буріння (табл. 1).

Інтерпретація профільної аномалії магнітного поля методом порівняння із застосуванням оптимізації дала наступні результати. Модель залягає під кутом $\alpha = 81^\circ$, глибина до поверхні моделі $h = 3$ м та до її підшови $H = 300$ м, розміри тіла вздовж профілю $2b = 9$ м та поперек профілю $2a = 469$ м, сумарна намагніченість (J) складає $3,17$ А/м, а кут нахилу вектора намагнічування $I_0 = 86^\circ$. Необхідно відзначити, що оптимізація в даному випадку суттєво поліпшила результати інтерпретації, отримані методом порівняння на першому етапі.

Вважається, що тривимірна інтерпретація дозволяє більш точно розраховувати просторове розташування моделі джерела поля. Дослідниками Бхаскара Рао та Рамеша Бабу [6] було проаналізовано технологію та результати тривимірного моделювання магнітних аномалій в класі вертикальних призм. В роботі [5] ці автори детально розглянули особливості програми інверсії магнітних аномалій за допомогою набору призматичних тіл. Відмічена розробка містить як точні, так наближені вирази для розрахунку ΔT – аномалій, а також процедури нелінійної оптимізації на базі алгоритму Маркварда [9]. Як показав час, цей алгоритм є одним із кращих в задачах оптимізації.

Автором даної статті на основі алгоритмів та співвідношень, приведених в роботах [4, 7], було створено програмне забезпечення для інтерпретації площових та профільних магнітних ΔT – аномалій в класі вертикальних призм. Вихідною інформацією, при інтерпретації аномальних полів за допомогою цієї розробки, є дані площових спостережень магнітного поля, рівень регіональної складової, географічна широта ділянки робіт та схилення вектора геомагнітного поля. Розроблене програмне забезпечення дозволяє виконувати інтерпретацію магнітних аномалій як у профільному, так і в площовому варіантах. Отже, в зв'язку з цим, з'явилася можливість порівнювати результати інверсії магнітних аномалій, отримані за даними двох варіантів інтерпретації.

Для порівняльного аналізу результатів дво- та тривимірної інтерпретації була вибрана Чарторийська від'ємна магнітна аномалія, яка, як вважається геофізиками, спричинена наявністю слабкомагнітних утворень на фоні більш магнітного вмшуючого середовища. Ця аномалія має ізометричну форму і значення вектора напруженості знаходяться в діапазоні від -125 нТл до $+75$ нТл.

За результатами інтерпретації площових спостережень Чарторийської аномалії отримані наступні параметри магнітного джерела: покрівля об'єкта знаходиться на глибині 223 м, підшови – 279 м (потужність 56 м), намагніченість об'єкта складає $3,65$ А/м, поперечний розмір – 600 м, поздовжній розмір – 558 м, кут падіння тіла – 90° , кут нахилу вектора намагнічування 199° .

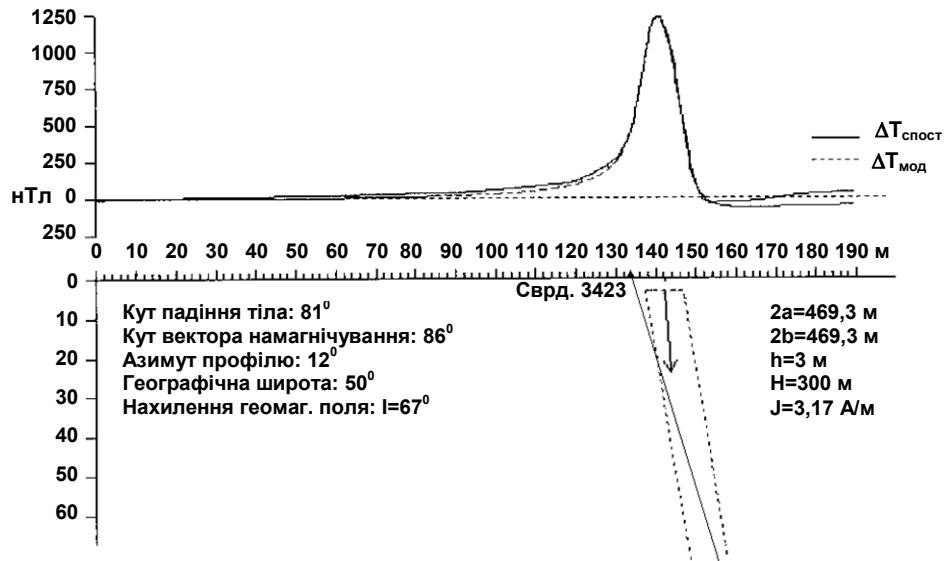
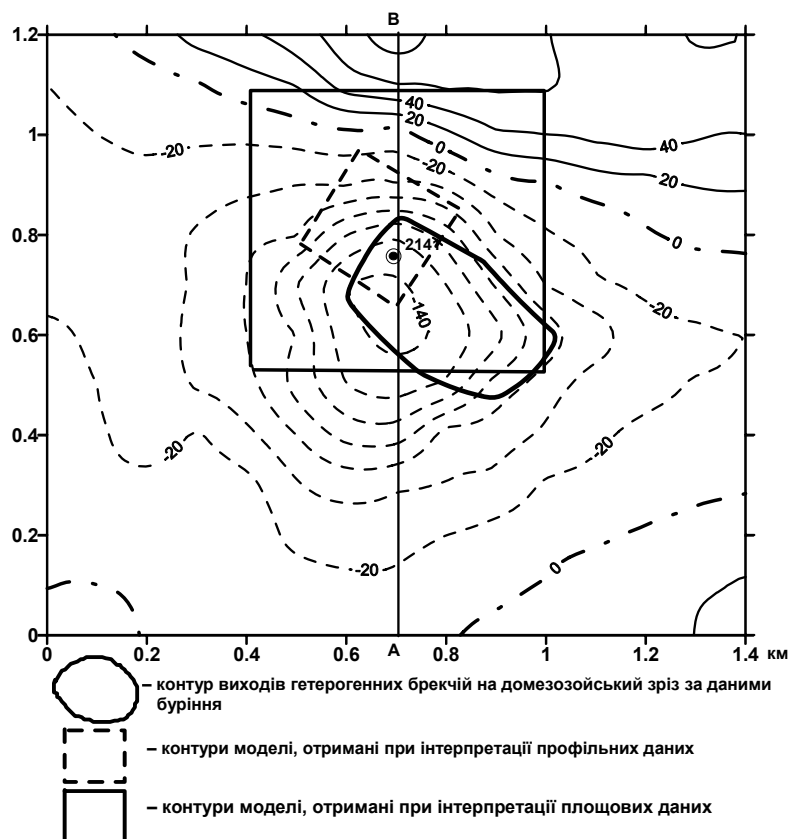


Рис. 1. Інтерпретація магнітної аномалії (Яцковичи) методом порівняння з оптимізацією

Таблиця 1. Результати буріння та інтерпретації дайки (Яцковичи)

№	Модель за даними	α	h , м	H , м	$2b$, м	$2a$, м	J , А/м	I_0
1	буріння	$80^\circ-82^\circ$	3	∞	15-17	500	2.7	—
2	базового набору моделей	80°	6	179	11	11	6.8	60°
3	оптимізації	80°	3	300	9	469	3.2	86°

Рис. 2. Карта ізодинам ΔT та контури модельних тіл Чарторійської аномалії

Чарторійська магнітна аномалія розбурена свердловиною 2191 до глибини 1194,5 м. За даними буріння виявлений наступний розріз: 6 м – пісок дрібнозернистий, 20,5 м – супіс алевритова, 26,5 м – суглинок гуму-

сований, 80 м – крейда, 84 м – мергель записований, 96 м – крейда в доломітовий товщі, 102 м – брекчія доломітова, аргілітоподібна слюди́ста, 148,5 м – брекчія піскувато-доломітова, 229 м – істотно доломітова,

251 м – піскувато-туфо-доломітова, 291,5 м – аргіліт, 317,7 м – пісковик з прошарками алевролітів, 325,9 м – базальт, 327,8 м – пісковик вулканоміктовий, 329,9 м – брекчія піскувато-туфова, 334,5 м туфоалевроліт з лінзами галечників, 336 м – шлакова брекчія, 375 м базальт дрібнозернистий, 378,7 м – туфобазальтова брекчія, 402,7 м – лавобрекчія, 416,6 м – базальт, 443,1 м – брекчія (туфи, базальти), 555,6 м – брекчія туфова, 773 м – пісковик, 876,1 м – брекчія туфо-піскувато-трапова, 931 м – зона дроблення в породах поліської серії, 1036,5 м – пісковик червоний, 1178,0 м – чергування пісковиків, аргілітів та алевролітів, 1193,5 м – крупнозернистий граніт.

На території досліджень повсюдно присутня потужна трапова товща порід, але, як видно із даних розбурювання аномалії, вона не виявлена. Натомість, в значній кількості присутні брекчіювані піскувато-

доломітизовані породи. Це, ймовірно, свідчить про те, що відбувся прорив глибинною інтрузією трапових пластоподібних утворень, які є більш магнітними, ніж інтрузивні маси. В результаті така ситуація зумовила наявність від'ємної магнітної аномалії в геомагнітному полі.

В результаті нахиленого намагнічування прорваних інтрузивними масами трапових утворень центр аномалії та епіцентр "трубки вибуху" зміщені на 80 м. З позиції вияву трубок вибуху або каналів, що підводять магматичний розчин, Чарторійська аномалія розглядається перспективною.

Результати профільного та площового варіантів інтерпретації Чарторійської магнітної аномалії (рис. 2) наведені в порівняльній таблиці 2. На рис. 3 представлено вертикальний розріз результатів тривимірної інтерпретації вздовж інтерпретаційного профілю А-В (рис. 2).

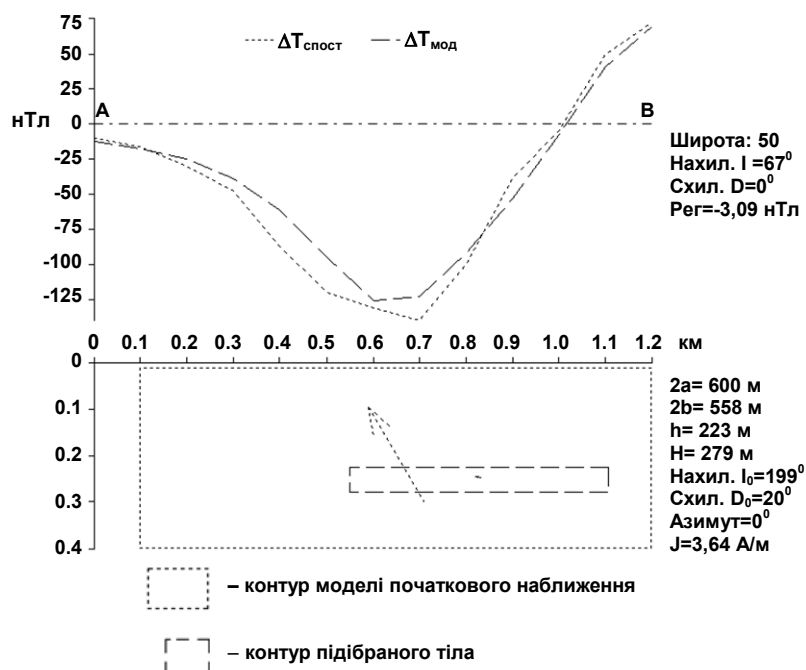


Рис. 3. Графіки ΔT спостереженого та модельного полів вздовж інтерпретаційного профілю А-В

Таблиця 2. Результати інтерпретації Чарторійської аномалії

№	Модель за даними	h , м	H , м	$2b$, м	$2a$, м	J , А/м	I_0
1	буріння	220	270	125	215	1,5–3	–
2	профільних спостережень	161	692	119	119	4,8	259°
3	площових вимірювань	229	282	556	593	4	199°

Висновок. Аналіз результатів інтерпретації свідчить про наступне. Горизонтальні розміри моделі, яка отримана при інтерпретації площових даних більші, ніж моделі, отриманої за результатами інверсії профільних даних. У випадку використання профільних даних визначення вертикальних границь джерела більш наближене до реальних. В той же час результати інтерпретації площових спостережень більш достовірні, ніж профільних при визначенні глибини джерела, але розмір, орієнтація та епіцентр моделі в плані виявилися далекі до реальних. Для проведення розбурювання найбільш важливою є інформація про глибину залягання магнітного джерела. В цьому випадку тривимірна магнітна інверсія є більш достовірною.

З виконаних досліджень можна зробити висновок, що магнітна інверсія площових даних виявила кращі результати при оцінці глибини до покрівлі (h) та підшви (H) моделі. Загалом результати інтерпретації площових спостережень більш відповідають пластовій моделі джерела поля, а профільних – штокоподібній. Це свідчить про те, що інтерпретація за даними профільних спостережень ефективна при наявності дайкових тіл, а інверсія площових даних дає більш достовірні результати у випадку пластових геологічних об'єктів.

1. Булах Е.Г. Метод подбора при решении обратных задач гравиметрии и магнитометрии // Вопросы теории и практики комплексной геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Матер. междунар. школы семинара, г. Ухта, 15-24 ноября 2000. – 2000. – С. 82–131. 2. Гришук П.І., Булах С.Г., Нурмухамедов В.Г. За-

стосування трансформацій гравімагнітного поля способом осереднення при виділенні та інтерпретації малоамплітудних аномалій // Вісник КНУ. Серія Геологія. – К., 2006. – № 38–39. – С. 34–39. 3. Гура К.А. Таблично-аналитическая интерпретация магнитных аномалий: Учебное пособие. – К., 1990. 4. Гура К.О., Гришук П.І. Інтерпретація магнітних аномалій в автоматизованому режимі: Навчальний посібник. – К., 2000. 5. Bhaskara Rao D., Ramesh Babu N. A Fortran-77 computer program for three-dimensional inversion of magnetic anomalies resulting from multiple prismatic bodies // Computers & Geosciences. – 1993. – V. 19, No 6. –

P. 781–801. 6. Bhaskara Rao D., Ramesh Babu N. A rapid method for three-dimensional modeling of magnetic anomalies // Geophysics. – 1991. – V. 56, No 11. – P. 1729–1737. 7. Darracott B+W. On the choice of a "2D" or "3D" model in gravity interpretation // Geoexploration. – 14. – P. 143–146. 8. Li Y., Oldenburg D. W. 3-D inversion magnetic data // Geophysics. – 1996. – V. 61, No. 2. – P. 394–408. 9. Marquardt D.W. An algorithm for least squares estimation of nonlinear parameters // Jour. Soc. Indust. Appl. Math. – 1963. – V. 11, No 2. – P. 431–441.

Надійшла до редколегії 27.09.07

УДК 550.83-1029.12

О. Меньшов, асп.,

Р. Хоменко, асп.,

А. Сухорада, канд. геол.-мінералог. наук, доц.

МОЖЛИВОСТІ ПЕДОМАГНІТНОЇ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МАГНІТОМЕТРИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Розглянуто особливості застосування інформації про магнетизм ґрунтового покриття при детальних магнітометричних дослідженнях та педомагнітному моделюванні. Наведено приклади розподілів досліджених магнітних та магнітометричних параметрів у ґрунтовому покритті, перші результати педомагнітного моделювання.

The peculiarity of using the information about soil magnetism under detailed magnetometry investigations and pedomagnetic modeling is considered. The examples of the distributions of the investigated magnetic and magnetometric parameters in soils, the first results of the pedomagnetic modeling are described.

Вступ. З точки зору свого розвитку та еволюції, дослідження магнетизму ґрунтового покриття (педомагнетизму), які проводяться авторами даної статті, пройшли декілька етапів. Проте, одним із лейтмотивів (про що йшлося у відповідних публікаціях [6, 7]) завжди була теза про можливість та необхідність використання педомагнітної інформації для розв'язання саме геологічних задач. Загальна концепція формування та становлення, а також перспективи швидкого розвитку геофізики педосфери, аналізуються в роботі А. Сухоради [2]. Повертаючись до геолого-геофізичного значення вивчення педомагнетизму, перш за все, слід сказати про значимість магнетизму ґрунтового покриття в ряді ґрунтово-ландшафтних та геологічних ситуацій на території України, а отже і про доцільність його врахування при ультраточних магнітних зйомках. Зокрема, в цілому ряді випадків локальне аномальне магнітне поле може більшою мірою формуватися ландшафтом, який адекватно ілюструється відповідним ґрунтовым покритвом.

Зауважимо також і домінуюче місце фахівців геофізиків у створенні нового наукового напрямку – геофізики педосфери у формі синтезу власне геофізичної науки з іншими науками (екологія, географія, ґрунтознавство, біологія і т.д.). Відомий факт, що основною задачею геології є виконання розвідувальних, пошукових, картувальних та інших робіт. Таким чином, у даній публікації представлено спробу вперше системно розглянути магнітні властивості ґрунтового покриття на прикладі обраної дослідної ділянки, охарактеризувати вертикальні та латеральні розподіли досліджуваних магнітних параметрів та інтегрувати отриману педомагнітну інформацію в результати дослідження локального аномального магнітного поля даної території, а відтак провести педомагнітне моделювання та виконати педомагнітну інтерпретацію отриманих результатів. Така робота є новою, адже навіть зі світової практики нам відомі лише роботи з вивчення педомагнітних властивостей [4], окремо з магнітометрії ґрунтового покриття [5], проте поставлена в даній статті інтегральна задача ніколи не розв'язувалася.

Методика робіт. Основними магнітними параметрами, що використовувалися нами, є: магнітна сприйнятливість χ (або індуктивна намагніченість J_i), природна залишкова намагніченість J_n , фактор Q , сумарна намагніченість J_Σ та ефективна намагніченість J_{ef} . Останні два види намагніченості ґрунтового покриття частково описані нами в роботах [3, 8]. Зазначені параметри ви-

мірювалися в лабораторних та польових умовах за допомогою лабораторного астатичного магнітометра LAM-24, лабораторного капамістка KLY-2, двочастотного вимірювача магнітної сприйнятливості MS-2, польових капаметрів ПИМВ-2 та КТ-5. Для вимірювання магнітної індукції використано оригінальну установку (розробка СКДБ КНУТШ) на базі магнітометра М-33 (базова конфігурація представлена реєструючим датчиком та перетворювачем магнітне поле-частота), при одночасній реєстрації двома датчиками із використанням двоканального частотомира та записом на переносний персональний комп'ютер. Точність одиничного виміру приладу становить $\pm 0,02$ нТл, середня квадратична похибка зйомки $\pm 0,4$ нТл. Дискретність вимірювань – 5 вимірів за 1 секунду. Профільна зйомка виконувалась при постійному переміщенні датчиків у просторі (динамічна реєстрація), де одиничний вимір є інтегральним представленням значень магнітного поля за час реєстрації. При дискретності порядку 5 вимірів за 1 секунду та швидкості переміщення оператора з блоком реєструючих датчиків порядку 3,5 км/год, відстань між центрами зон реєстрації становить близько 0,2 м. Вихідними даними є три значення: значення повного вектора магнітного поля B на висотах 0,25 та 0,75 м при базі 0,5 м та різниця вимірів G_v , розрахована математично шляхом перерахунку на одиницю відстані між датчиками нТл/м. Як магнітоваріаційну станцію (МВС) використано магнітометр М-33 з дискретністю вимірів 1 вимір за 15 с та точністю 0,1 нТл. МВС розміщувалась на відстані близько 200 м від центру профілю.

Об'єкт дослідження. Дослідна ділянка "Горобії" є частиною Східного лісостепового агрогеофізичного станіонару [1]. Вона характеризується переважно сірим лісовим типом ґрунтового покриття, розташовується на околиці лісового масиву. Було досліджено розподіл магнітних параметрів та проведено магнітометричні дослідження вздовж ґрунтової катени (гіпсометрію наведено на рис. 1), що бере свій початок у лісі, проходить через схил, який представлений необроблюваним сільськогосподарським угіддям, перетинає балку і через сільськогосподарські поля (оброблювані та необроблювані впродовж кількох років) виходить на вододільну ділянку ландшафту. Така будова перетину дає можливість прослідкувати зміну педомагнетизму в усіх фаціях ландшафту, характерних їм типам ґрунтового покриття, прослідкувати характерні зміни досліджуваних величин при переходах між різними фаціями ґрунтової катени.