

УДК 550.83–1029.12

**О.І. Меньшов<sup>1</sup>, А.В. Сухорада<sup>1</sup>, Р.В. Хоменко<sup>1</sup>,  
О.В. Круглов<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Київський національний університет імені Тараса Шевченка,  
м. Київ*

*<sup>2</sup>Національний науковий центр “Інститут ґрунтознавства та  
агрохімії імені О.Н. Соколовського”, м. Харків*

## **СУЧАСНІ МАГНІТНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИРОДНИХ ОБ’ЄКТІВ. ІНФОРМАЦІЙНИЙ АСПЕКТ**

Розглянуто основні принципи сучасних магнітних досліджень природних об’єктів, їх основні принципи, відмінності від детальних магнітних знімачів. Наведено методичні та інформаційні аспекти. Продемонстровано приклади використання магнітних досліджень під час прогностичних геологічних знімачів територій, пошуків корисних копалин, у природоохоронній галузі та сільському господарстві.

**Ключові слова:** магнітометрія, магнетизм, ґрунти, екологія, вуглеводні.

**Вступ.** На сучасному етапі функціонування геологічної галузі України перспективи розвитку мінерально-сировинної бази пов’язані насамперед із завданням підвищення ефективності відповідних пошукових і розв’идувальних робіт. Реалізація такого підходу стає можливою внаслідок розробки нових наукових засад й залучення сучасних технологій геологорозвідки. Серед методів геофізики, без яких на сьогодні будь-які прогностичні та пошукові роботи неможливі, високу ефективність, експресність та економічну доцільність демонструють засоби магнітометрії. При цьому одним із ключових чинників стає детальність відповідних робіт.

Під ультрадетальною магнітометрією ми розуміємо комплексні магнітометричні дослідження геологічного середовища, які включають магнітне знімання з необмеженою детальністю та вивчення петро- і педомагнітних характеристик, зокрема ефективної намагніченості природних об’єктів.

Ультрадетальне магнітне знімання дає змогу отримувати інформацію про існуюче магнітне поле, яке із високим ступенем наближення відповідає теоретичній ідеальній моделі (поле відоме у кожній точці простору з абсолютною точністю). Принциповою відмінністю ультрадетального магнітного знімання порівняно з мікромагнітним зніманням професора Лаутербаха [1] є розповсюдженість його на значні території. У такий

спосіб за ультрадетальним магнітним зніманням отримуємо матеріали, які можуть бути використані в усіх видах досліджень – від вивчення ґрунтового покриву до пошуків нафти і газу. Крім того, результати такого знімання не потребують періодичного оновлення, включаючи зміну масштабу спостережень.

**Методичні аспекти.** Якість аналізу магнітного поля прямо пропорційне ступеню його відображення у цифровій формі, оскільки збільшення детальності природно веде до одержання додаткової інформації. Одним із класичних положень вибору мережі спостережень є врахування розмірів шуканого магнітоконтрастного тіла, відповідно до якого мінімальний крок реєстрації магнітного поля має бути меншим  $1/2$  поперечного розміру об'єкта. У реальному геологічному середовищі, де фіксуємо сумісний вплив кристалічного фундаменту, осадових відкладів і магнітних неоднорідностей ґрунтового покриву і де різкі переходи відсутні, картина магнітного поля має складний характер. Для виділення аномальних ефектів різних за генетичною природою магнітних утворень необхідне застосування щільної мережі досліджень та різновисотного знімання.

Графік величини магнітного поля відображає характер цього поля над профілем досліджень тільки в точках реєстрації. При цьому разом з ефектом від геологічних утворень різного порядку спостерігаємо магнітний ефект від сильномагнітних поверхневих джерел. Такі джерела, як правило, малопротяжні, але можуть робити істотний внесок у сумарне реєстроване магнітне поле. У разі рідкісного поширення подібних утворень їх легко ідентифікувати на графіку величини магнітного поля. Якщо ж дискретність знімання під час фіксації таких утворень близька до дискретності реєстрації магнітного поля, відбувається накладення магнітного ефекту від фіктивного джерела в сумарне магнітне поле. Це, у свою чергу, призводить до формування в обвідній графіка магнітного поля помилкового максимуму або мінімуму. Аналізуючи цей графік поля, інтерпретатор за відсутності додаткової інформації зробить висновок щодо наявності геологічного тіла, його походження, просторового розташування і магнітних властивостей, що суперечить реальному стану речей.

**Приклади.** *Геологічне знімання територій.* Перспективи використання ультрадетального магнітного знімання під час геологічного знімання територій зводяться до можливості виявлення елементарних магнітних тіл, передусім магнітних маркерів, які за існуючої детальності магнітних знімань виявляються неповністю, хибно корелюються або навіть “прова-

люються” у мережу спостережень. Відтак постановка детальної магнітного знімання зразка кінця ХХ ст. виправдовується лише в разі побудови карти масштабу не крупніше 1 : 200 000. Це призводить до втрати маркувальних горизонтів, невиправданої генералізації геологічного простору (генерації віртуальних геологічних об’єктів). Разом з тим навіть наддетальне вивчення магнітних властивостей існуючих відслонень і свердловин не дає можливості ефективного використання матеріалів з магнетизму гірських порід у інтерпретаційних задачах. У результаті надзвичайно інформативна галузь геологічної петрофізики, якою є магнетизм гірських порід, втрачається у суто академічні дослідження. Поєднання ультрадетального магнітного знімання з настільки ж докладним вивченням магнетизму природних об’єктів (наприклад прибортових відслонень) створює принципово нові умови для розуміння природи аномального магнітного поля, зокрема в процесі вивчення кристалічного фундаменту.

Для прикладу розглянемо аналіз вибору кроку дослідження на дослідній ділянці, в межах якої знаходяться різко відмінні за магнітними властивостями магнітоактивні об’єкти. Полігон “Салинці” (Вінницька обл., Гайсинський р-н) характеризується магнітними кристалічними утвореннями відносно потужних пластів від 0,2, м до десятків метрів. Знімання (початковий профіль за кроком спостережень 0,25 см, висота реєструвального датчика над поверхнею 0,5 м) проведено вхрест простягання розломної зони. Використано процедуру розрідження мережі досліджень (фіксована відстань між точками досліджень) з розрахунком середньоквадратичної помилки (називатимемо її помилка щільності мережі  $S$ ). Початкова відстань  $N_{\text{поч}}$  – дискретність за найщільнішої мережі спостережень. Під розвантаженням мережі  $N$  розуміємо число, яке відображає збільшення відстані між точками досліджень відносно  $N_{\text{поч}}$ . При  $N = 1$  відстань між точками досліджень дорівнює відстані між точками досліджень для початкового профілю  $N_{\text{поч}}$ . Графіки при  $N_{\text{поч}} = 0,25$  см (висота реєструвального датчика над поверхнею 0,5 м) і магнітного поля з розрідженою мережею (крок дорівнює 50 м при  $N = 200$ ) показано на рис. 1.

Довжина профілю близько 660 м. Як видно з графіку на рис. 2, помилка щільності мережі  $S$  досягає 100 нТл. Якщо прийняти, що магнітне поле за щільної мережі найточніше відображає реальне магнітне поле по профілю досліджень, розрідження мережі досліджень значно спотворює картину поля. При цьому, по-перше, можливий інверсійний характер на графіку

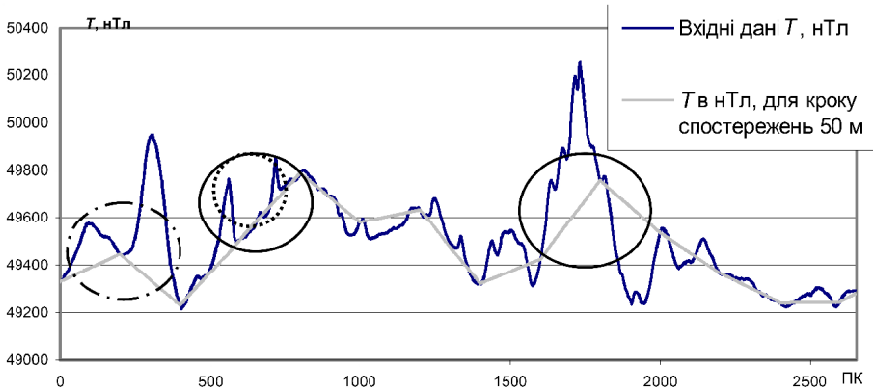


Рис. 1. Змінення інтенсивності виміряного та магнітного поля з розрідженою мережею

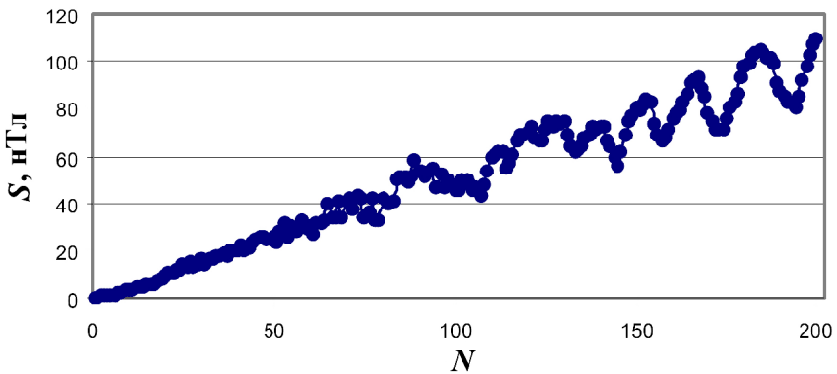


Рис. 2. Залежність точності знімання від параметра розрідження мережі реєстрації  $N$

магнітного поля (на рис. 1 зона інверсії виділена штрих-пунктирним колом) і, по-друге, можливий пропуск малопотужних або потужних геологічних утворень, які є інформативними, або зміщення епіцентру аномалії (на рис. 1 зони виділені колом суцільної лінії). По-третє, сильномагнітні аномалії незначної потужності можуть формувати хибні аномалії в разі розрідження мережі досліджень (на рис. 1 аномалія виділена пунктирним колом). Це внесе значні похибки у процес кількісної інтерпретації.

Актуальність ультрадетальної магнітометрії під час геологічного знімання територій у XXI ст. ґрунтується також на зміні загальної парадигми геологічного знімання у наш час – переході до так званого геоло-

го-прогнозного знімання. Відтак, для магнітометрії зокрема і геофізики взагалі головним є завдання виявлення ознак поля (тобто аномального магнітного), які б відігравали вирішальне значення для прогнозу територій на конкретні корисні копалини. Накопичений досвід свідчить, що таке завдання може бути вирішеним виходячи із концепції нерівноважності середовища як характерної особливості рудогенного процесу.

Іншим прикладом інформативності ультрадетальних магнітних досліджень під час геологічного знімання є можливість виокремлення магнітних аномалій від наддрібних неглибокозалегаючих об’єктів (наприклад археологічних). Дослідний полігон “Малополовецьке” (Київська обл., Фастівський р-н) характеризується наявністю багатого археологічного матеріалу, порівняно слабомагнітного та за розмірами на порядки меншого за наведений у першому прикладі. Проведено ультрадетальне магнітометричне знімання в русі з використанням магнітометра на базі датчиків квантового магнітометра КМ-8. Крок спостережень 0,25 см, висота реєструвального датчика над поверхнею 0,5 м. Точність знімання 0,5 нТл. Як видно з рис. 3, збільшення детальності знімання дає можливість фіксувати малопотужні слабомагнітні об’єкти. При цьому реалі-

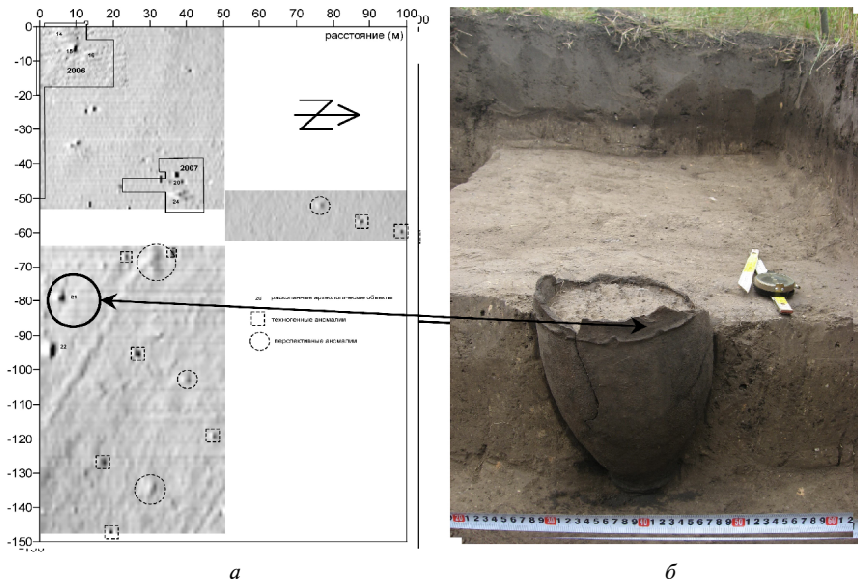


Рис. 3. Приклад використання результатів магнітних досліджень: *а* – карта магнітного поля археологічних об’єктів дослідного полігону “Малополовецьке”; *б* – археологічний об’єкт, виявлений за результатами ультрадетального магнітного знімання

зоване знімання в русі дає можливість отримати додаткову інформації із збереженням ресурсів і коштів.

*Пошуки нафти і газу.* Аномалії магнітного поля у декілька нанотесла, які фіксуються засобами магнітометрії, часто пов’язують з покладами вуглеводнів [2].

Розглянемо інформативність магнітометрії під час пошуків нафти і газу на прикладі перспективної на поклади вуглеводнів території, що розміщується на південному заході Венесуели [3]. Ділянка належить до південної частини Венесуельських Анд. Досліджено магнітні параметри зразків ґрунтів і проведено електронну мікроскопію для визначення концентрації органічних часточок. За близьким до одиниці значенням параметра  $S$  у комплексі з даними температурних магнітних досліджень виявлено магнетит як основну магнітну фазу у зразках ґрунтів. Результати магнітних і електронно-парамагнітних досліджень були накладені на карту концентрації етану (рис. 4) [3, 4]. Найбільші аномалії виявлені на ділян-

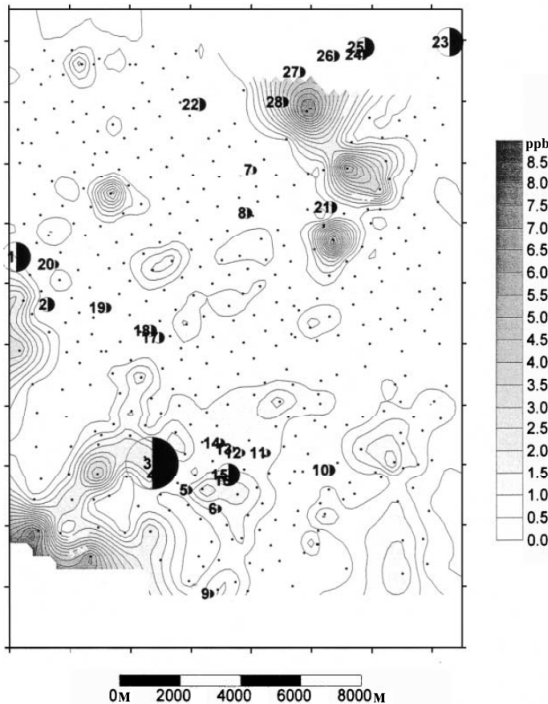


Рис. 4. Контурна карта концентрації етану (ppb), за Romero [4], та інформації про магнітну сприйнятливості ґрунтів (чорно-білі овали), за Gonzalez [3]. Розмір овалів прямо пропорційний величині магнітної сприйнятливості

ках підвищеної концентрації етану. Припускається, що міграція етану зумовила зміну магнітної мінералогії ґрунтів, що фіксується позитивними магнітними аномаліями.

*Природоохоронні завдання.* Загрозливою тенденцією для сталого розвитку країн є техногенний вплив на ґрунтовий покрив, нижчезалегаючі горизонти, палеопедосферу. Широко відомі випадки забруднення територій у десятки і сотні гектарів вторинними вуглеводневими продуктами [5]. Через флуктуацію рівня підземних вод йде процес утворення вторинних магнітних мінералів, які стають джерелами магнітних аномалій, що фіксуються під час проведення ультрадетальних магнітометричних робіт та які мають бути оптимально проінтерпретовані. Крім того, відбувається омагнічування ґрунтового покриття внаслідок впливу відходів металургійної промисловості, викидів теплоелектростанцій, прокладення автошляхів тощо. Ці аспекти сучасного геологічного знімання успішно вивчає в Україні [6] і за її межами [7] екопедомагнетизм – напрям магнетизму природних об’єктів.

*Агропромисловий комплекс.* Із низки завдань, що вирішуються засобами магнетизму речовини у агропромисловому комплексі, особливий науковий та практичний інтерес становить можливість застосування результатів ультрадетального магнітного знімання для вимірювання ерозійних параметрів ґрунтів, моніторингу ерозійних процесів, калібрування та апробації моделей ерозії – основи стратегії планування проведення протиерозійних заходів. Регламентована нормативними документами програма USLE (універсальне рівняння втрат ґрунту Уїшмейєра–Сміта) (ДСТУ) і поширювана у Європі та США програма WEPP [8] потребують серйозних доопрацювань для введення у повсякденний вжиток землепорядних організацій та господарюючих суб’єктів.

**Висновки.** Ультрадетальне магнітне знімання дає змогу отримувати інформацію про існуюче локальне аномальне магнітне поле, яке із високим ступенем наближення відповідає теоретичній ідеальній моделі поля. У ході досліджень отримано матеріали, які можуть бути використані під час геологічного знімання, пошуків мінеральної сировини, прогнозу територій, вивчення аграрної складової ґрунтового покриття, розв’язання природоохоронних завдань, у процесі археологічних досліджень.

1. *Магниторазведка: Справочник геофизика* / [под. ред. В. Е. Никитского, Ю. С. Глебовского]. – М.: Недра, 1990. – 470 с.

2. *Меньшов О.И.* Геологічна інформативність магнітних досліджень при пошуках вуглеводнів. Стан проблеми / О.И. Меньшов, А.В. Сухорада // Теоретичні і прикладні аспекти геоінформатики. – К., 2011. – С. 59–70.
3. *Gonzalez F.* An integrated rock magnetic and EPR study in soil samples from a hydrocarbon prospective area / F. Gonzalez, M. Aldana, V. Costanzo-Alvarez, M. Diaz, I. Romero // Physics and chemistry of the Earth. – 2002. – № 27. – P. 1311–1317.
4. *Romero I.* Modelo integrado geoquimicoestructural (preliminar) en el flanco Surandino / I. Romero, C. Zambrano, M. Gonzales, J. Perez, E. Novoa, A. Gonzalez, M. Odehnal // VII Simposio Bolivariano de Exploracion Petrolera en las cuencas Subandinas. – P. 566–576.
5. *Rijal M.L.* Change of magnetic properties due to fluctuation of hydrocarbon contaminated groundwater in unconsolidated sediments / M.L. Rijal, E. Appel, E. Petrovsky, U. Blaha // Environmental Pollution. – 2010. – Vol. 158 (5). – P. 1756–1762.
6. *Sukhorada A.* Spatial distribution of ferrimagnetic pollution from iron-ore open-cast mines and metallurgical enterprises of Kriviy Rig and Mariupol / A. Sukhorada, K. Bondar, M. Jeleńska, A. Hasso-Agopsowicz, M. Kądział ko-Hofmokl, Z. Matviishina // Contributions to Geophysics and Geodesy. – 2004. – № 34. – P. 145–146.
7. *Heller F.* Magnetic record of industrial pollution in forest soils of Upper Silesia, Poland / F. Heller, Z. Strzyszcz, T. Magiera // J. Geophys. Res. – 1998. – Vol. 17, № 103, B8. – P. 767–774.
8. *Nachtergaele F.O.* From the FAO-Unesco Soil Map of the World to the digital global soil and terrain database / F.O. Nachtergaele // Proceed. ESB meet. Athens. AGL Working paper. FAO. – Rome, 1995.

**Современные магнитные исследования природных объектов. Информационный аспект** А.И. Меньшов, А.В. Сухорада, Р.В. Хоменко, А.В. Круглов

Рассмотрены основные принципы современных магнитных исследований природных объектов, их основные принципы, отличие от детальных магнитных съемок. Приведены методические и информационные аспекты. Продемонстрированы примеры использования магнитных исследований при прогнозных геологических съемках территорий, поисках полезных ископаемых, в природоохранной отрасли и сельском хозяйстве.

**Ключевые слова:** магнитометрия, магнетизм, почвы, экология, углеводороды.

**Present-day environmental magnetic investigations. Informational aspect** O.I. Menshov, A.V. Sukhorada, R.V. Homenko, O.V. Kruglov

The conception of present-day magnetic investigations of environment, their basic principles, differences from the detailed magnetic surveys are considered. The methodical and informational aspects are given. The examples of magnetic investigations using at predictive geological mapping of territories, mineral prospecting, in the environmental industry and agriculture are shown.

**Keywords:** magnetometry, magnetism, soils, ecology, hydrocarbons.