

Структура магнітного поля зумовлена розширенням площі магнітних мас з глибиною та збільшенням їх інтенсивності намагніченості до глибини 2000-3000 м. Нижче 3000 м інтенсивність намагніченості гірських порід зменшується в центрі аномалії від 300 нТл до 190 нТл, а на глибинах 5000 – 8000 вона зменшується до 160 – 190 нТл. На глибинах 8000 - 10000 м середня інтенсивність намагніченості гірських порід дорівнює 118 нТл, що майже збігається з магнітними властивостями гірських порід, які оточують зону аномалії з усіх сторін. Це свідчить про те, що максимальна глибина розповсюдження магнітних гірських порід, що створюють Ново-Володимирівську магнітну аномалію, не перебільшує 5000 – 6000 м. Таким чином, по магнітному полю комплексом лінійної та лінійно-нелінійної обернених задач можна вивчати глибинну будову геологічних масивів, чого окремо кожним методом зробити не можна.

Разом з тим з рис. 1-3 виходить, що можна також вивчати і будову приповерхневої частини геологічних масивів в кристалічному фундаменті з метою пошуку в них корисних копалин.

На рис. 3, с, d ми одержали глибини до другого та третього шару 30-70 м, а подекуди породи перших двох шарів виходять на денну поверхню. За межами аномалії глибини до магнітних кристалічних порід, в тому числі і до 3-го шару, різко збільшуються до 375-700 м (рис. 3, d). І все це встановлено тільки одним геофізичним методом. На рис. 4, d приведена карта залишків поля з дуже рівномірним їх розподілом та досить малою середньою квадратичною похибкою поля 1,8 нТл, що свідчить про

високу стійкість та фізичну і геологічну змістовність одержаних розв'язків обернених задач магнітометрії.

Висновки. Комплексом розв'язків обернених лінійних та лінійно-нелінійних задач магнітометрії можна одержати достовірні дані про структуру кристалічного фундаменту з метою забезпечення більш точного планування бурових робіт при геологічному картуванні в рудних районах, а при пошукових дослідженнях знаходження ділянок для проведення детальних магнітних та гравітаційних зйомок.

В перспективі приведена методика інтерпретації може стати основою для розробки нових методів більш точного обчислення регіонального фону в автоматичному режимі при розв'язку обернених лінійних та лінійно-нелінійних задач магнітометрії.

1. Математическое обеспечение автоматизированной системы интерпретации гравитационных аномалий // Булах Е.Г., Маркова М.Н., Тимошенко В.И. и др.; Редкол.: О.И.Калашникова и др. – К.: Наукова думка, 1984. – 112 с. 2. Страхов В.Н. О решении линейных обратных задач гравиметрии и магнитометрии // ДАН СССР. – 1991. – Т.310, №6. – С.1348-1352. 3. Мищенко П.А. Применение линейно-нелинейных методов магнитометрии и гравиметрии при исследованиях на кристаллическом фундаменте: Сб. научн. тр. НГУ. – Днепропетровск, 2006. – №26. – С. 80-87. 4. Мищенко П.А., Мищенко Р.В. О поисках избирательно экстремальных решений обратной задачи магнитометрии при исследованиях на кристаллическом фундаменте // Науковий вісник НГУ. – Днепропетровск, – 2006. – №9. – С. 39-44. 5. Мищенко П.А. Особенности решения обратной линейно-нелинейной задачи гравиметрии // "Геоинформатика". НАНУ, Центр менеджменту та маркетингу в галузі наук про Землю ІГН НАН України. – 2005. – №4. – С. 31-35. 6. Мищенко П.А. Фильтрация интенсивных помех в обратной линейной задаче гравиметрии при исследованиях на кристаллических цитах // Науковий вісник НГУ. – Днепропетровск, 2006. – №6. – С. 38-43.

Надійшла до редколегії 12.02.07

УДК 550.384

К.М. Бондар, канд. геол. наук, Р.В. Хоменко, асп., С.А. Попов, зав. лаб.

РЕЗУЛЬТАТИ МІКРОМАГНІТОМЕТРИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ДЕЯКИХ АРХЕОЛОГІЧНИХ ПАМ'ЯТОК У 2005-2006 РОКАХ

В роботі наведені результати магнітометричних і петромагнітних досліджень на поселенні Малополовецьке-2А та Більському городищі.

The results of magnetometric and petromagnetic investigations on Malopolovetske-2A archaeological site and Belsk settlement are represented in the paper.

Вступ. Високоточні магнітні дослідження в Україні мають майже 30-літню історію і проводяться на широкому спектрі об'єктів, серед яких зсуви, карст, зони тріщинуватості, місця неглибокого залягання корінних порід кристалічного фундаменту, ґрунту, археологічні пам'ятки. Традиційно високоточна магнітометрія реалізується у вигляді мікромагнітної зйомки – детального дослідження невеликих ділянок, націленої на виявлення неглибоко залягаючих тіл [1].

Магнітний сигнал виникає за рахунок підвищеної індуктивної (J_i) чи залишкової (J_n) намагніченості археологічного тіла у порівнянні з вмшуючим ґрунтом. Яскравим прикладом служить виникнення термозалишкової намагніченості в похованому ґрунті і кераміці внаслідок обгорання, опалення, коли намагнічуються утворені при високій температурі сильно магнітні оксиди заліза. До росту індуктивної намагніченості культурного шару веде діяльність людини, пов'язана з привнесенням речовини, що має підвищену порівняно з ґрунтом магнітну сприйнятливості (k, χ).

Магнітометричне картування і вивчення магнітних властивостей археологічної речовини стали важливими елементами дослідження археологічних пам'яток різних епох [2-8]. Магнітометричні дослідження для потреб археології на території України вперше були проведені В.П. Дудкіним у 1978 р. [9]. Результати магнітометричного картування трипільських поселень зібрані в роботі І.М. Кошелева [10]. Кургани і городища скіфського часу, вивчені в останні роки, представлені в роботах [2, 4].

В 2005-2006 рр. авторами проводилися магнітометричні дослідження на археологічних пам'ятках, польова капаметрія в процесі розкопок, вивчення магнітних властивостей сучасних та похованих ґрунтів, ґрунтоутворюючих порід, культурних шарів, археологічних знахідок. В даній статті наводяться і обговорюються результати робіт на поселенні бронзової доби Малополовецьке-2А та на Більському городищі.

Методи досліджень та апаратура. Мікромагнітні зйомки включали вимірювання індукції магнітного поля V і її вертикального градієнта V_z . Зйомки виконані квантовим морським магнітометром-градієнтметром КМ-8 (ІЗМІРАН, Росія), встановленим на немагнітну підвіску. Датчики розміщені один над другим на відстані 0,75 м, нижній датчик було закріплено на висоті 0,5 м. Датчики мають роздільну здатність 0,1 нТл. Режим безперервної реєстрації V забезпечує крок між вимірами по профілю в 25 см. Досягнута точність зйомки модуля магнітної індукції V , оцінена по повторним вимірам, складала 0,3 нТл, вертикального градієнту V_z – 0,5 нТл/м. В якості магнітоваріаційної станції використано квантовий магнітометр М-33 (Геологоразведка, Росія). Для обробки первинної магнітометричної інформації застосовані програмні комплекси, що виконують всі необхідні операції (введення поправок за варіації магнітної індукції, фільтрацію "шумів", введення поправок за регіональний фон, видалення аномалій-завад).

Виміряні аномалії V_z не потребують додаткової обробки, градієнт краще відображає "тонку структуру" складних аномалій [4], але вони менш контрастні ніж аномалії V .

Польова капаметрія, що супроводжувала археологічні роботи, виконана приладом Bartington Instruments Ltd MS2 Magnetic Susceptibility Meter з датчиком-кільцем MS2D діаметром 185мм. Глибинність досліджень до 8 см. Результати польової капаметрії використано для побудови математичної моделі – матриці при послідовних розрахунках магнітного ефекту від археологічних об'єктів.

З розкопів проводився відбір монолітних зразків всіх типів матеріалів і ґрунтів. В лабораторних умовах вивчали наступні магнітні характеристики: об'ємна і мас-специфічна магнітна сприйнятливості (k, χ) та її частотна залежність (k_{fd}) приладами KLY-2 (Geofizyka, Чехія) та Bartington Instruments Ltd MS2 Magnetic Susceptibility Meter з датчиком MS2B Dual Frequency Sensor; природна залишкова намагніченість (J_n) – на спін-магнітометрі JR-4 (Geofizyka, Чехія) або на астатичному магнітометрі LAM-24 (Geofizyka, Чехія), який дозволяє вивчати також k монолітних зразків.

Об'єкти досліджень. Поселення Малополовецьке-2А розміщене на захід від с. Малополовецьке Фастівського р-ну Київської обл. Воно займає схил чорноземної тераси лівого берегу г. Суботь (правий приток Кам'янки – лівий приток Росі – правий приток Дніпра). На поселенні знайдені матеріали і об'єкти епохи пізньої бронзи (14-11 ст. до н.е.), черняхівської культури (3-4 ст.н.е.), Давньої Русі (11-12 ст) [11]. В 2006 г. продовжено комплексні багатогільові магнітні дослідження Малополовецького археологічного комплексу. Виконана градієнтна мікромагнітна зйомка ділянки поселення, по магнітометричній карті визначена площа закладання археологічних розкопів. В процесі розкопок проведена польова

капаметрія ґрунтового покриву на рівнях глибин до 1,5 м через кожні 30 см. Відібрані зразки ґрунтів і всіх видів археологічної речовини, магнітні властивості яких вивчені в лабораторних умовах.

Більське городище – велике укріплене поселення VIII-III вв. до н.е., розміщене на високому вододільному плато в мікроріччі рр. Ворскла та Суха Грунь в Котелевському р-ні Полтавської обл. На території Західного укріплення городища знайдено більш 50 зольників – звалищ золи перемішаної з ґрунтом, із великою кількістю давніх знахід господарських будівель. В 2005 г. виконано мікромагнітну зйомку зольника №13 (ділянка 45x30м по регулярній сітці 1x1м приладом ММП-203, в 2006 г. – зольника № 54 (ділянка 54x41 м, по описаній вище основній методиці, відстань між профілями – 0,75 м) [12].

Результати. Поселення Малополовецьке-2А. Ділянка зйомки характеризується підвищенням рельєфу в північному напрямку. Магнітна індукція зростає в цьому напрямку на 60 нТл. На фоні такого природного тренду виділяються дві групи невеликих за розмірами аномалії, одна з яких була пройдена археологічними розкопком загальною площею 350м² (рис. 1а). На місці пологої ізометричної позитивної аномалії інтенсивністю до 4 нТл знайдено заглиблену земляну споруду п'ятикутної форми (об'єкт 14) (рис. 1б). Площа землянки біля 40 м² (6,4x6,4 м); глибина – 0,9 м від сучасної денної поверхні (0,6-0,65 м від поверхні епохи пізньої бронзи). В центральній частині споруди зафіксовано три ями: дві господарські, в подальшому використані у якості вогнищ, і більша яма – вірогідно, залишки погребу; глибина ям досягала 2-2,2 м [13].

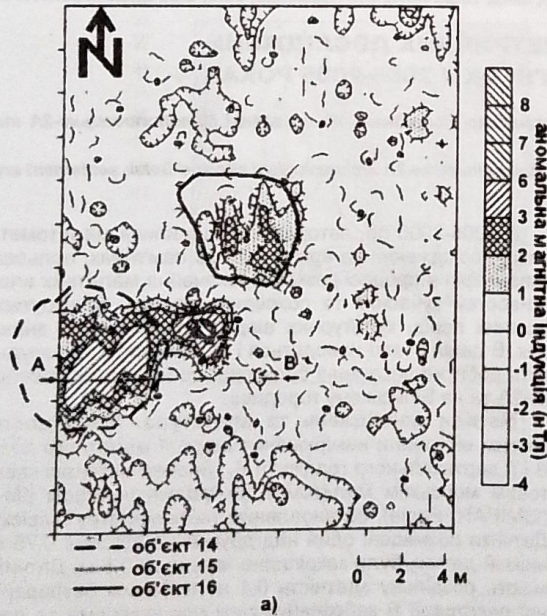
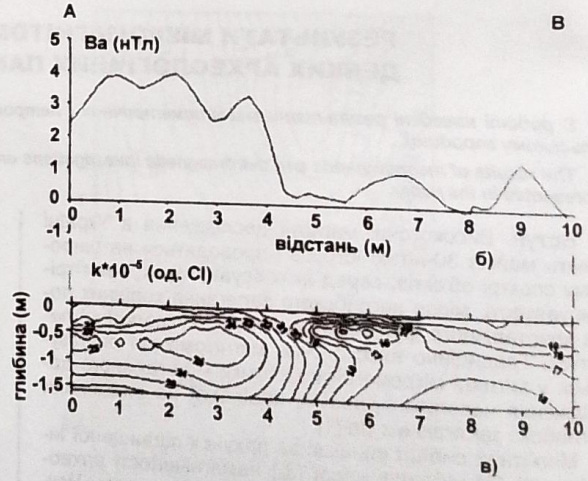


Рис. 1. Фрагмент магнітограми поселення Малополовецьке-2А (а) з нанесеними археологічними об'єктами, профіль аномальної магнітної індукції (б) та капаметричний розріз (в) по лінії А-В



Позитивна аномалія інтенсивністю 7,5 нТл пов'язана з вогнищем (об'єкт 15). Залишки вогнища зафіксовані на глибині 0,2-0,27 м від сучасної денної поверхні. Площа об'єкта 1,4x1,15 м.

Крім того, на ділянці зареєстрована серія аномалій від металічного сміття. Такі аномалії звичайно мають високу інтенсивність (більше 20 нТл) і спряжену негативну частину або просто негативний характер. При обробці такі аномалії відсікаються.

В розрізі чорнозему типового в розкопі без археологічних слідів і в спокійному магнітному полі k поступово

зменшується з глибиною від $25 \cdot 10^{-5}$ од. СІ в орному гумусовому горизонті до $14 \cdot 10^{-5}$ од. СІ в світлому лесовидному суглинку.

По даним польових вимірів магнітної сприйнятливості (k) побудована серія картограм, що відображають латеральні і вертикальні зміни k . Поверхня орного шару, виміряна після зрізу дернини має $k=19 \dots 25 \cdot 10^{-5}$ од. СІ, латеральний розподіл k визначається перерозподілом магнетиків внаслідок сільськогосподарської обробки ґрунту і не відображає археологічної насиченості ділянки.

Будівля-землянка проявляється на картограмах к починаючи з глибини 30 см (рис. 1в). Його заповнення однорідне і має підвищену порівняно з вміщуючим ґрунтом магнітну сприйнятливість $k=23...26 \cdot 10^{-5}$ од. СІ, тому контури чітко виділяються в капаметричному розрізі. Вогнище представляє собою площадку з опаленої глини і має висоту $k=120 \cdot 10^{-5}$ од. СІ, оскільки містить зерна сильномагнітних окислів заліза, утворених в результаті обороння.

Більське городище. Магнітограми зольників представляють собою комплекси аномалій, пов'язаних із структурними неоднорідностями культурного шару (насіпами, ровами) і окремими об'єктами (спорудами, вогнищами).

На картограмі залишкових аномалій локальної магнітної індукції $V_{лок}$ зольника № 54 Західного укріплення Більського городища у вигляді слабоінтенсивної (2-4 нТл) плями проявився насип, розкритий пізніше в східній частині розкопу (рис. 2) [14]. Зверху під орним шаром залягав шар злистого матеріалу з керамічними рештками більш раннього часу ніж знайдені глибше. Загальна потужність цих нашарувань від 20 до 60 см. Нижче залягав шар чорнозему товщиною від 20 до 45 см, під яким знаходився шар зольника кінця 6 – початку 5 ст. до н. е. Ймовірно, у давнину поблизу був зруйнований більш давній культурний шар, матеріал якого насипаний на зольник.

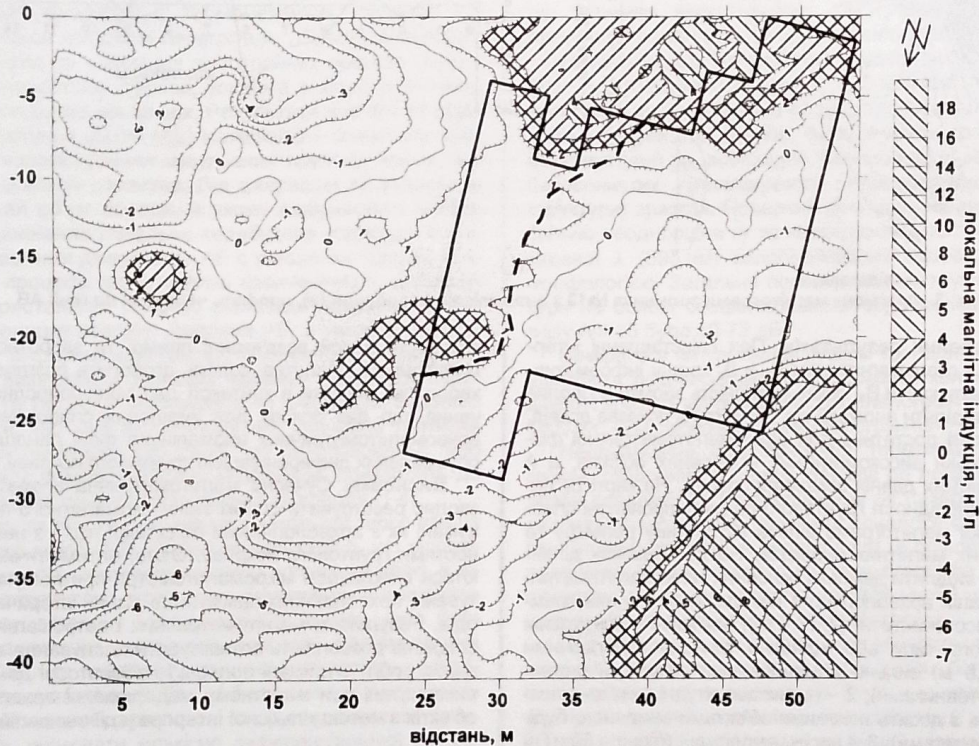


Рис. 2. Магнітограма зольника №54 з нанесеними контурами розкопу 2006 р. Пунктиром позначена границя насипу

Також на цій магнітограмі зафіксована аномалія в 4 нТл площею біля 15 м^2 проявлена також у полі вертикального градієнту V_z , зв'язана з точковим об'єктом, ймовірно півчю. Розкопки цієї аномалії заплановані на наступний рік.

На магнітограмі V_a зольника №13 (рис. 3а) зафіксована єдина аномалія високої інтенсивності (до 64 нТл) (рис. 3б), з яскраво вираженою від'ємною частиною з північної сторони. Під нею розкопані залишки наземної культової споруди [12].

Досліджені магнітні властивості всіх основних матеріалів зольника (табл. 1). Керамічний посуд, уламки якого

зустрічаються серед археологічної речовини має сприйнятливість $60...2700 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3 \text{ кг}^{-1}$. Враховуючи невелику різницю χ культурного шару і ґрунту давньої поверхні, не варто очікувати виділення по магнітометричним даним жертвників з кістками, поховань або господарських ям, якщо вони не заповнені великою кількістю керамічного матеріалу. K_{fd} ґрунтів, як похованих, так і сучасних досить висока у порівнянні з лесовидним суглинком, що вказує на високий вміст суперпарамагнітних утворень серед педогенних феромагнетиків. K_{fd} керамічного матеріалу вказує на вміст в ньому багатодомених зерен [15].

Таблиця 1. Магнітні властивості матеріалів зольників Більського городища

Тип матеріалу	Масс-специфічна магнітна сприйнятливість, $\chi \cdot 10^{-8} (\text{м}^3/\text{кг})$	Частотна залежність магнітної сприйнятливості, $K_{fd} (\%)$	Природна залишкова намагніченість, $J_n \cdot 10^{-3} (\text{А/м})$
орний шар	58	9	25
культурний шар	45	8	11
похований ґрунт (давня дена поверхня)	40	10	17
чиста зола	247	6	912
керамічний матеріал	<2700	6	-
пінна обмазка	669	5	-
вугілля	3	-	-
лесовидний суглинок	22	4	2

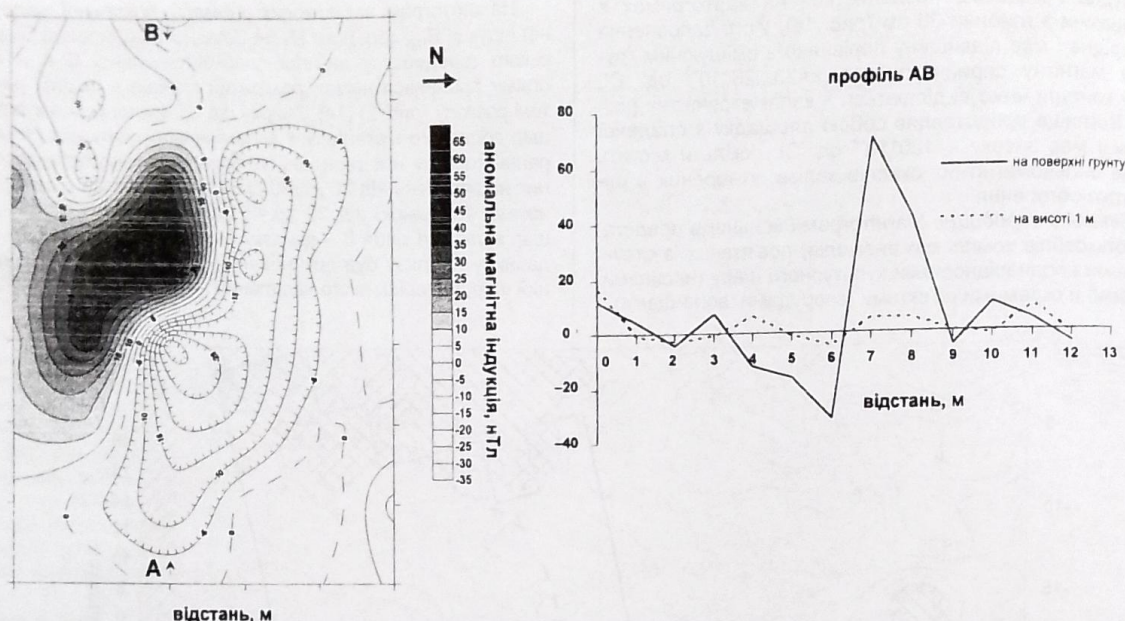


Рис. 3. Фрагмент магнітограми зольника №13 з аномалією від споруди (а), профіль через неї по лінії АВ

Обговорення результатів. При співставленні інтерпретаційних схем магнітограм B_x і B_z кращу інформативність показали карти B_x , оскільки точність зйомки дозволяє впевнено виділяти аномалії від 1,5 нТл. Як показав досвід, такої точності достатньо для археомагнітометричної фіксації не тільки високомагнітних опалених об'єктів, а й слабкомагнітних давніх земляних споруд. На карті B_z локальні неоднорідності ґрунтового покриву проявилися слабо, але така магнітограма вільна від впливу рельєфу та регіональних магнітних аномалій. На досліджених ділянках можна виділити декілька основних типів магнітометричних аномалій археологічного походження: 1 – низькоамплітудні височастотні (2...7 нТл), пов'язані з спорудами землянкового типу або відносно глибоко залягаючими (глибше 0,5 м) сильно намагніченими об'єктами (вогнищами, жертovníками); 2 – низькоамплітудні низькочастотні, пов'язані з досить великими об'єктами земляного будівництва (насіпами); 3 – високоамплітудні (більше 50 нТл) височастотні з спряженою від'ємною частиною, пов'язані з неглибоко розміщеними сильно намагніченими об'єктами (вогнищами, опаленими площадками).

На інформативність мікромагнітних зйомок для потреб археології суттєвий вплив справляє власний магнетизм ґрунтового покриву ділянки дослідження. Чим вище намагніченість ґрунту, тим вище і її дисперсія, а, відповідно, тим вище "археологічна межа чутливості" зйомки. Височастотні низькоамплітудні аномалії губляться на фоні "посіченого" магнітного поля над магнітоактивним чорноземом. На території України намагніченість ґрунтового покриву зростає в напрямку зміни природно-кліматичних зон, тобто з північного заходу на південний схід [15]. На ділянці Малополовецьке-2А, розміщеній на півночі Лісостепової зони з відносно слабкомагнітним ґрунтовим покривом слабка аномалія B_x від землянки проявилася достатньо контрастно. А на Більському городищі, де розвинуті сильномагнітні чорноземи, подібних об'єктів не видно, проте впевнено виділяється насип по аномалії амплітудою 2 нТл, яка має значну протяжність.

Розпочата типізація археомагнітометричних аномалій поселення Малополовецьке-2А та Більського городища з метою підвищення археологічної інформативності майбутніх магнітометричних зйомок. Створена на основі реальних вимірів к математична модель розподілу магнітних властивостей ділянок археологічних пам'яток може бути

використана при розв'язанні прямої та зворотної задачі магнітометрії. Магнітна модель дозволить розглядати археологічні знахідки в контексті давнього природного оточення, що дає основу для виділення слабоінтенсивних археомагнітометричних аномалій на фоні ландшафтних, обумовлених диференціацією ґрунтового покриву.

Висновки. Сучасна магнітометрична апаратура дозволяє реєструвати слабкі зміни геомагнітного поля, пов'язані як з археологічними об'єктами, так і з неоднорідностями ґрунтового покриву. Отже, оптимістично оцінюються можливості мікромагнітометрії при пошуках і картуванні археологічних пам'яток різних історичних періодів. Результати магнітометричних і петромагнітних досліджень дозволяють оптимізувати планування археологічних робіт. Отримані польові і лабораторні дані будуть використані при магнітному моделюванні археологічних об'єктів з метою кількісної інтерпретації аномалій від них.

1. Бродовой В.В., Викторов Г. Г. Основы высокоточной магниторазведки. Учебное пособие. – М.: Изд-во МГРИ – 100 с. 2. Ролле Р., Орлюк М., Романець Н., Ульрих Б., Цольнер Х. Археогеофізичні дослідження Більського городища та його округи // Більське городище та його округа. – Київ: вид. ІА НАНУ, 2006. – с. 19-32. 3. Aitken, M.J., 1974. Physics and Archaeology, 2nd Ed. Oxford: Clarendon Press, 1974. 4. Becker, H. and Fassbinder J.W.E., 1999. Magnetometry of a Scythian settlement in Siberia near Cichai in the Baraba Steppe 1999. In "3rd International Conference on Archaeological Prospection", pp. 168-172. 5. Canti, M. G. and N. Linford. 2000. The effects of fire on archaeological soils and sediments: Temperature and colour relationship. Proceedings of the Prehistoric Society 66, 385-395. 6. Clark A.J.C., 1990. Seeing beneath the soil, London: Batsford. 7. Dekkers M.J., 1997. Environmental magnetism: an Introduction. Geologie en Mijnbouw, 76: 163-182. 8. Evans, M.E. F. Heller. 2003. Environmental Magnetism. Principles and applications of enviromagnetics, Academic Press. Int. Geoph. Series, v.86. 9. Дудкин В.П. Геофизическая разведка крупных трипольских поселений // Использование методов естественных наук в археологии. – К., 1978. – с. 35-44. 10. Кошелев И.Н. Памятники трипольской культуры по магниторазведочным данным. – К., 2004. – 337 с. 11. Лысенко С.Д. Дополнение к археологической карте Фастовского района 1990-2004 гг. // ФДМ, Пресмузей, №20-21, Фастів, 2004. с. 85-152. 12. Задніков С.А. Шрамко І.Б. Отчет о раскопках на западном укреплении Бельского городища в 2005 г. // Ин-т археологи НАН Украины, 2005, 112 с. 13. Бондарь К.М., Виршило І.В., Лысенко С.Д. Магнітне моделювання участку поселення епохи бронзи Малополовецьке-2А: деякі результати та прогноз // Археологія і геоінформатика, вип. 3 – М., 2007. 14. Шрамко І.Б., Задніков С.А. Культурні споруди VI ст. до н.е. Західного Більського городища // Археологічний літопис Лівобережної України. №2, Київ: вид. ІА НАНУ, 2006 – с.12-28. 15. Dearing J. A., Dann R. J. L., Hay K., Lees J. A., Loveland P.J., Maher B.A., O'Grady K. Frequency-dependent susceptibility measurements of environmental materials. Geophys. J. Int.124, 228-240, 1996. 16. Бондарь К.М. Природна залишкова намагніченість сучасних ґрунтів України та її геофізичне значення: Автореф. дис. на здоб. ступ. канд. геол. наук К., 2004. – 22 с. **Надійшло до редакції 01.02.07**