

УДК 631.42:537.612.4(23)(477.41/.42)

Магнітна сприйнятливість ґрунту в околицях Придеснянської воднобалансової станції

О. В. Круглов^{1а*}, С. А. Попов^{2б}¹Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського», Харків, Україна²ННІ «Інститут геології» Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
Отримано 29.10.2024 Отримано після доопрацювання 04.11.2024 Затверджено до видання 18.12.2024 Доступно онлайн 27.12.2024	ґрунтовий покрив є одним з основних джерел низькоамплітудних аномалій локального магнітного поля, що реєструються під час проведення високоточної детальної магнітної зйомки. Вплив ґрунту при цьому залежить від певних ландшафтних та літологічних особливостей та носить регіональний характер, і це зумовлює необхідність проведення циклу регіональних досліджень. Метою статті є висвітлення результатів дослідження особливостей просторового та профільного розподілу магнітної сприйнятливості ґрунту як одного з основних аномалієутворювальних чинників в умовах ускладненого рельєфу Лівобережного Полісся України. Для цього застосовано дослідження магнітної сприйнятливості (МС) у межах генетичних горизонтів профілів ґрунтів у різних ландшафтно-гідрологічних умовах. Методи визначення досліджуваних показників: питому магнітну сприйнятливість — за допомогою магнітометра MS 2B; об'ємну магнітну сприйнятливості — капометром КМ-7. Встановлено провідну роль властивостей ґрунотвірної породи у формуванні магнітних характеристик ґрунтового профіля. Максимальні значення магнітної сприйнятливості притаманні ґрунтам на вододільних плато та у верхніх частинах балок; зниження до 50 % відзначається на еродованих ґрунтах у середніх частинах балок. Максимальне зниження МС пов'язане з концентрацією вологи та високим рівнем підґрунтових вод — донна частина балок і локальні безстічні ділянки.
Ключові слова: ґрунт; ґрунотворна порода; магнітометрія; магнітна сприйнятливості; рельєф	

* E-mail: alex_kruglov@ukr.netORCID: ^a 0000-0003-2663-0935; ^b 0000-0002-3881-3723

Форма цитування: Круглов О. В., Попов С. А. Магнітна сприйнятливості ґрунту в околицях Придеснянської воднобалансової станції. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Міжвід. темат. наук. зб. / ННЦ «ІГА ім. О. Н. Соколовського». Харків: 2024. Вип. 97. С. 18–24. doi: 10.31073/acss97-02

1. Вступ

Детальна магнітна зйомка території вже кілька десятиліть використовується як відносно дешевий маркер геологічної та екологічної структури території [1]. Такі дослідження та їх результати важливі як для екологів, так і для проведення геологорозвідувальних робіт та оцінювання деградованості ґрунтів через ерозію [2]. Ці роботи, завдяки експресності та низькій собівартості, широко застосовуються під час комплексних досліджень ґрунтового покриття з поєднанням геофізичних та агрохімічних методів [3].

Проведення та, головне, інтерпретація результатів такої комплексної зйомки території неможливе без урахування впливу всіх наявних аномалієутворювальних чинників. При заявленій точності вимірювання магнітного поля від 1,2 нанотесл (нТл) і нижче до складу таких чинників включаються особливості просторового розподілу магнітних характеристик ґрунтового покриття.

Вважається, що аномалії магнітних характеристик ґрунту мають розміри у кілька метрів з амплітудою значень у кілька нанотесл. Рекомендації їх ігнорувати, піднявши датчик магнітометра вище 2 м над денною поверхнею, не завжди прийнятні в аспекті збору даних нафтогазової геології [4].

У більшості ситуацій, незважаючи на відносно невисокі (порівняно з гірськими породами) значення магнітних характеристик ґрунтового покриття, їх просторові неоднорідності мають суттєвий вплив на значення локального магнітного поля і повинні враховуватись у результатах магнітної зйомки [5]. Такі характеристики, однак, мають певні закономірності їх просторового розподілу, що визначаються впливом окремих факторів ґрунтоутворення [6, 7]. Розуміння природи такого зв'язку дозволить точніше прогнозувати

та виділяти їх внесок. Крім того такі закономірності часто мають регіональний характер, тобто потребують окремих уточнень в конкретних кліматичних та ландшафтних ситуаціях [8].

У цій статті висвітлено частину результатів комплексного дослідження локальних аномалій магнітного поля, проведеного на ділянці зі складними рельєфними, літологічними та гідрологічними умовами, розташованій на території лівобережного Полісся України. Її метою є узагальнення особливостей просторового та профільного розподілу магнітної сприйнятливості ґрунту як одного з основних чинників утворення локацій аномальних магнітних характеристик земної поверхні.

2. Об'єкти та методи

Дослідження проводили на сильнорозчленованому плато між річками Студенка та Криски, розташованому на південь від села Покошичі у Понорницькій селищній громаді Новгород-Сіверського району Чернігівської області в околицях Придеснянської воднобалансової станції (ВБС). Ґрунтовий покрив плато представлений сірими та ясно-сірими лісовими ґрунтами, їх змитими відмінами та дерновими ґрунтами [9, 10]

Одним з основних методичних підходів у ґрунтознавстві є дослідження ґрунтових профілів, тобто вертикального розподілу властивостей ґрунту від денної поверхні до ґрунотвірної породи за генетичними горизонтами. В Україні найбільш поширеною є система маркування та класифікації таких горизонтів за О. Н. Соколовським [11], що і було використано у дослідженні. Опис профілів ґрунтів у 12-ти закладених розрізах виконано для визначення глибини залягання окремих генетичних горизонтів, у межах яких саме і було проведено вимірювання магнітної сприйнятливості ґрунту. Типи та назви ґрунтів у статті не вказуються.

Було використано дані про два види магнітної сприйнятливості (МС): об'ємну та питому. Об'ємну МС ґрунту визначали в польових умовах капометром КМ-7. Визначення питомої МС проводили в лабораторних умовах за допомогою MS 2 (Bartington) за методикою, описаною Dearing J. A. [12].

Серед основних чинників ґрунтоутворення, що значною мірою визначають властивості ґрунту, в тому числі і магнітні, називають рельєф [13]. В умовах високої вертикальної та горизонтальної розчленованості території його вплив стає вирішальним. Тому в межах дослідної ділянки було закладено мережу ґрунтових розрізів, що розташовані в типових для даної місцевості ландшафтних ситуаціях. Схему розташування розрізів подано на рисунку 1.

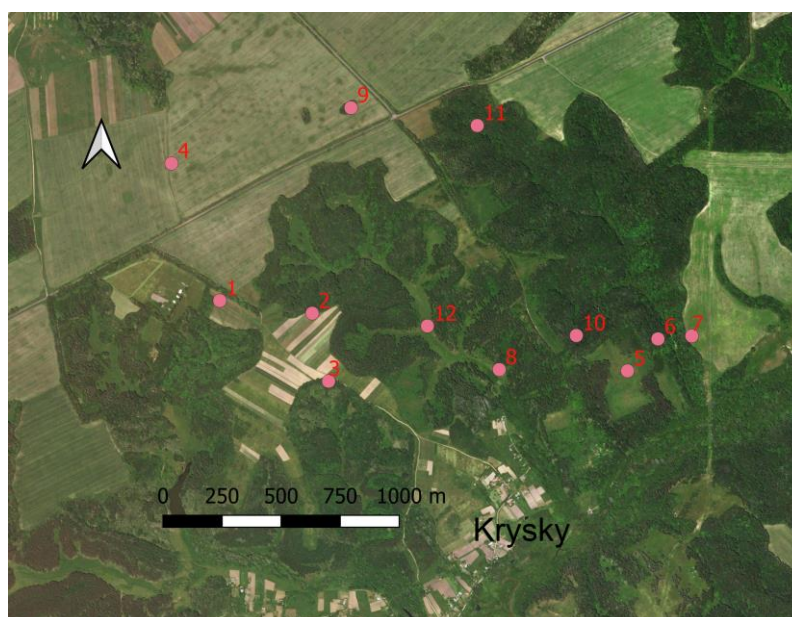


Рис. 1. Схема розташування досліджених ґрунтових профілів
(Створено авторами на базі фрагмента знімка Google)

3. Результати досліджень

Описані профілі охоплюють всі основні елементи ландшафту, представлені на території досліджень. Детальніше їх ландшафтне положення та господарське використання земель показано в таблиці 1.

Таблиця 1

Характеристика місць закладення розрізів для дослідження ґрунтових профілів

Розріз (профіль)	Географічні координати	Опис ландшафтних умов	Тип землекористування
1	N 51.766167 E 32.963285	Схил корінного берега крутістю 3-4 %.	Оброблюване поле, рілля.
2	N 51.765727 E 32.968969	Схил корінного берега.	Межа (узлісся) мішаного лісу та обробленого поля.
3	N 51.763111 E 32.969968	Схил корінного берега. Відслонення молодого яру.	Мішаний ліс з рідким підліском.
4	N 51.772004 E 32.960395	Вододільне плато.	Необроблювана буферна ділянка поблизу об'єкта транспортної інфраструктури.
5	N 51.763439 E 32.968279	Верхня частина схилу балки.	Велика галявина в лісі. Сухі луки.
6	N 51.764709 E 32.990150	Нижня частина схилу балки, ускладнена зсувами.	Хвойний ліс з рідким підліском.
7	N 51.764824 E 32.992220	Неширокий вододіл (схил корінного берега) між двома балками.	Необроблювана ділянка поля (переліг).
8	N 51.763546 E 32.980418	Відслонення на середній частині схилу балки.	Чагарникова рослинність.
9	N 51.773487 E 32.971324	Локальна западина на вододільному плато.	Свіжа лісосіка.
10	N 51.764841 E 32.985144	Нижня частина схилу в середній частині балки.	Мішаний ліс з густим підліском.
11	N 51.772809 E 32.979085	Дно балки в її верхній частині.	Відсутні промоїни та інші ознаки постійних водних потоків.
12	N 51.765204 E 32.976020	Дно балки в її середній частині.	Сирі луки. Помітні ознаки заболювання.

У всіх генетичних горизонтах кожного з ґрунтових профілів було досліджено *in situ* об'ємну МС та відібрано проби ґрунту для визначення питомої МС в умовах лабораторії. Результати визначень подано в таблиці 2.

4. Обговорення результатів

Таким чином дослідження стосується всіх ландшафтних елементів катени: вододільне плато – схил корінного берега – верхня частина балки – схил балки – дно балки. Загальною рисою вертикального розподілу МС практично всіх досліджених профілів є існування максимуму в ілювіальному горизонті, що перевищує значення показника у верхньому горизонті. Питома МС верхнього горизонту ґрунтів приблизно однакова і лежить в межах $27,3\text{--}29,0 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$, за винятком фацій з надлишковою вологістю (розрізи 9–12) що пов'язана з концентрацією атмосферних опадів. Значення МС лежать в межах, характерних для ґрунтів цього типу ґрунтоутворення [14].

МС ґрунтоутворної породи варіює в діапазоні $1,1\text{--}22,6 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$. На нашу думку ці значення залежать як від водного режиму так і від гранулометричного складу. Характерна особливість дослідженої території (як і Полісся у цілому) полягає у переважанні нелесових материнських порід — давньоалювіальних, флювіогляціальних, моренних, крейдіано-мергельних. Майже усі ці породи легкого гранулометричного складу: давньоалювіальні переважно піщані, зв'язнопіщані та легкопіщані, флювіогляціальні — супіщані та іноді легкосуглинкові, моренні — від зв'язнопіщаних до легкосуглинкових з переважанням

останніх. Лесоподібні породи тут зустрічаються переважно у вигляді так званих «лесових островів» [9].

Таблиця 2

Магнітна сприйняливість (МС) ґрунту в генетичних горизонтах профілів

Профіль	Генетичний горизонт	Глибина, см	Об'ємна МС, 10^{-3} од. СІ	Питома МС, 10^{-8} м ³ /кг	Примітка
1	He	0-36	0,39	28,8	Помітні слабкі сліди оглеєння з глибини 45 – 50 см
	Eh	36-50	0,30	24,8	
	lph(gl)	50-63	0,45	33,3	
	lpe(gl)	63-75	0,48	—	
	Pi(gl)	75-105	0,29	29,9	
	P	105-120	0,20	17,1	
2	HE	0-38	0,25	23,2	—
	Hei	38-50	0,37	27,3	
	Pie	50-78	0,29	27,5	
	Pi	78-105	0,27	28,6	
	P	105-120	0,22	15,4	
3	H(p)e	0-27	0,30	28,8	Середньозмитий ґрунт
	Phe	27-41	0,30	31,2	
	P(i)	41-63	0,34	32,2	
	P	63-100	0,25	20,6	
4	He	0-26	0,29	24,7	Темно-сірий опідзолений ґрунт
	Hi	26-42	0,35	25,8	
	Pi(h)	42-61	0,27	22,8	
	Pi	61-84	0,37	31,6	
	P	84-100	0,24	22,6	
5	HE	0-23	0,27	31,1	Сліди оглеєння з глибини 30 см
	Eh(gl)	23-37	0,45	32,2	
	lhp(gl)	37-53	0,50	33,6	
	Pigl	53-75	0,51	36,0	
	P(i)	75-85	0,27	26,3	
	P	85-100	0,22	17,4	
6	HE	0-23	0,18	28,5	Сліди оглеєння з глибини 25 см
	E(h)(gl)	23-47	0,28	27,6	
	I(h)p(gl)	47-67	0,27	25,7	
	Pi(gl)	62-80	0,25	25,6	
	P	80-100	0,21	18,0	
7	HE	0-28	0,30	27,3	Сліди оглеєння з глибини 70 см
	E(h)	28-44	0,26	22,5	
	Pie(gl)	44-52	0,28	24,6	
	Pi(gl)	52-107	0,40	26,7	
	P	107-130	0,18	16,4	
8	HE	0-25	0,26	28,2	Піщаний гранулометричний склад
	Ph	25-30	0,15	—	
	P	30-100	0,06	9,4	
9	HE(t)	0-32	0,07	8,3	Помітні нерозкладені рослинні рештки
	Ieh(gl)	32-47	0,09	11,4	
	P(gl)	47-52	0,10	—	
	P	52-100	0,12	9,5	
10	HE	0-34	0,11	9,8	Піщаний гранулометричний склад
	E(h)	34-48	0,03	13,1	
	Pi	48-110	0,27	22,2	
	P	110-120	0,09	14,1	
11	HE	0-42	0,10	19,4	—
	Ei(gl)	42-56	0,06	3,3	
	Pi(gl)	56-132	0,09	7,3	
	P(i)(gl)	132-150	0,08	1,1	
12	AlHe	0-38	0,02	3,5	З глибини 40 см – ознаки оглеєння. З глибини 48 см похований ґрунт
	Ehi(gl)	38-48	0,02	2,5	
	H(gl)t	48-67	0,07	5,0	
	Peh(gl)	67-87	0,08	11,5	
	P(h)(gl)	87-99	0,11	—	
	Hegl	99-108	0,08	4,7	
	PEigl	108-130	0,08	8,0	
	Pgl	130-150	0,08	4,8	

Так найвище значення МС ґрунотворної породи спостерігається у профілі 4, що розташований на локації, яка має найвищу гіпсометричну позначку. Гранулометричний склад материнської породи тут помітно важчий, ніж на інших локаціях. Хоча в розрізі 9, що закладений в тих самих умовах, але в локальному замкнутому пониженні (з безстічним водним режимом та застоєм води), МС значно нижча та визначається режимом води. Чітка ж диференціація впливів некліматичних факторів педогенезу наразі є складною нетривіальною задачею [15]. У даному випадку спостерігається залежність між ландшафтним розташуванням фації та питомою МС ґрунотворної породи: вододіл (20,0–22,6 $10^{-8}\text{м}^3/\text{кг}$), схил корінного берега та верхня частина схилів балок (15,1–19,0 $10^{-8}\text{м}^3/\text{кг}$), дно балок (1,1–9,5 $10^{-8}\text{м}^3/\text{кг}$). Докладно діапазони значень питомої МС різних горизонтів ґрунтового профілю для різних ландшафтних елементів подано на рисунку 2.

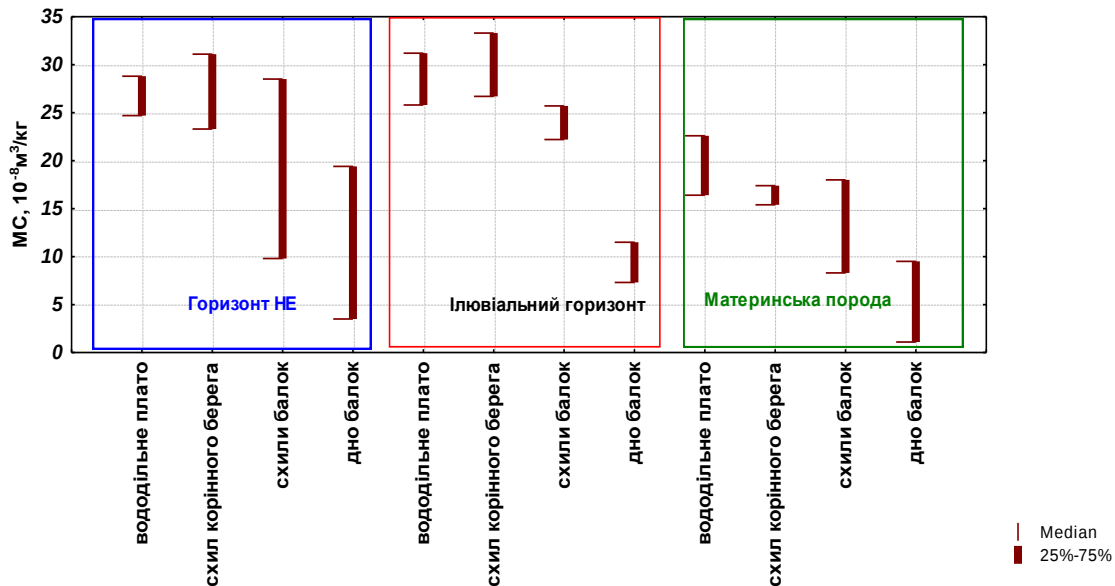


Рис 2. Діапазони значень питомої МС ґрунту у різних горизонтах профілю для різних ландшафтних елементів ділянки досліджень

Аналізуючи ландшафтне розташування опробуваних розрізів можна зробити висновок що вони розташовані на основних елементах ландшафту, що відрізняються водним режимом: вододільне плато — схил корінного берега — елементи балок, що його дрениують (схили та донна частина). Профільний розподіл значень МС подібний у всіх випадках, характеризуючись максимумом в ілювіальних горизонтах автоморфних ґрунтів, однак цей принцип дещо порушується за прояву змитості або гідроморфності. Верхні горизонти ґрунтів на схилах та в донних частинах балок характеризуються широким діапазоном значень МС, що пояснюється різним ступенем прояву ерозійних або гідроморфних процесів [3].

Ґрунт розрізу 8 має високе значення МС в горизонті HE та низьке у ґрунотворній породі, хоча прояви гідроморфних процесів тут виключаються. У цьому випадку основним фактором є піщаний гранулометричний склад материнської породи. Цей фактор, однак, у рамках даного дослідження не вивчався.

Ще одним діагностичним фактором для прогнозування МС ґрунту є видимі прояви оглеєння у профілі. Це було описано в семи профілях. У п'яти з них (крім 11 і 12) у видимій частині ґрунотворної породи оглеєння не спостерігалось, тобто його описано лише в ілювіальному горизонті. Можна зробити висновок, що оглеєння зумовлене виключно атмосферою вологою, а низька вологоємність піщаних та супіщаних материнських порід не сприяє поширенню цього явища на них.

МС таких ілювіальних горизонтів (крім профілів 11 і 12) відносно висока, найвища серед досліджених горизонтів. МС материнської породи займає проміжне значення.

Найнижчі ж значення МС ґрунту, як у гумусованих горизонтах, так і материнській породі, було виявлено в розрізах 9, 11 та 12. Ці фації є або локальним безстічним

ареалом або ж транзитними з високим заляганням підґрунтових вод. До схожих висновків свого часу ми прийшли досліджуючи МС ґрунтів катени у схожих ландшафтно-ґрунтових умовах, де було визначено тенденцію підвищення значень МС зі зниженням обводненості території [15]. Так у нашому випадку мінімальні значення МС ґрунту притаманні саме профілям, що знаходяться у більш вологих умовах (розрізи 9 і 12).

4. Висновки

Таким чином можна зробити висновок, що для дослідженої території визначальним фактором для значень МС ґрунту є магнітні властивості ґрунотворної породи, які, своєю чергою, визначаються їх ландшафтним положенням. Максимальні значення МС характерні для вододільних плато та верхніх частин балок. Помітний спад, до 50 % відзначається на еродованих ділянках середніх частин балок. Максимальне зниження МС ґрунту (на 75–90 %) спостерігається для фацій, розвиток яких пов'язаний з концентрацією вологи та високим рівнем підґрунтових вод — донна частина балок, локальні безстічні ділянки.

Дослідження виконано в межах гранту NSEPEUR23002-1012 «Development and implementation of multitask magnetometer survey methodology» (EURIZON FELLOWSHIP PROGRAMME). Висловлюємо щиру подяку керівнику Придеснянської ВБС Олександру Васильовичу Надточому та всьому колективу станції за сприяння у проведенні досліджень.

Список використаних джерел

1. Меньшов О. Магнетизм верхньої частини розрізу земної кори: природна та техногенна складові. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2013. №1(60). С. 28-32. URL: <https://geology.bulletin.knu.ua/article/view/1841>
2. Jakšík O., Kodešová R., Kapička A., Klement A., Fér M., Nikodem A.. Using magnetic susceptibility mapping for assessing soil degradation due to water erosion. *Soil and Water Research*. 2016. № 11(2). С. 105-113. <https://doi.org/10.17221/233/2015-SWR>
3. Круглов О., Меньшов О., Коляда В., Ачасова А., Андреева О. До питання комплексування геофізичних та агрохімічних методів досліджень схилів земель. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2021. № 3(94), С. 53-58. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.94.06>
4. Вижва С., Попов С., Бондар К., Хоменко Р., Івко А., Андрійчук Ю., Круглов Б., Круглов О., Поляченко Є. Удосконалена методика детальної магнітної зйомки для вирішення завдань нафтогазової геології. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2024. № 2(105). С. 29-36. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.105.04>
5. Сухорада А. В., Меньшов А. И. Суммарная и эффективная намагниченность почвенного покрова Украины и ее роль в магнитных съемках будущего. *Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики*. Київ, 2005. С. 278-280.
6. Lecoanet H., Léveque F., Ambrosi J. P. Combination of magnetic parameters: An efficient way to discriminate soil contamination sources (south France). *Environmental Pollution*. 2003. №122(2). P. 229–234. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(02\)00299-3](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00299-3)
7. Круглов О. Особливості розподілу магнітної сприйнятливості чорнозему типового на схилах. *Вісник Харківського національного аграрного університету. Сер. Ґрунтознавство*. 2012. №4. С. 66-69.
8. Maxbauer D. P., Feinberg J. M., Fox D. L. Response of pedogenic magnetite to changing vegetation in soils developed under uniform climate, topography, and parent material. *Scientific Reports*. 2017. № 7. 17575. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-17722-2>
9. *Атлас почв Украинской ССР*. Под ред. Крупского Н. К., Полупана Н. И. Киев: Урожай, 1979. 160 с.
10. *Многолетние характеристики гидрометеорологического режима малых водосборов Украины (материалы наблюдений Придеснянской ВБС, Богуславской ПЭГБ, Велико-Анадольской ВБС)* / под ред. Ю. В. Швейкина, Н. Д. Ещенко, И. И. Швейкиной. 1986. 612 с.
11. Соколовский А. Н. *Сельскохозяйственное почвоведение*. М.: Сельхозгиз, 1956. 335 с.
12. Dearing J. A. *Environmental Magnetic Susceptibility, Using the Bartington MS2 System* (2nd ed.). Chi Publishing, 1999. 87 p.
13. Bouhlassa S., Bouhsane N.. Assessment of the impacts of land-use change and slope position on soil loss by magnetic susceptibility-based models. *International Journal of Sediment Research*. 2023. 38(3), P.455-468. <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2022.11.006>
14. Jordanova N. *Soil Magnetism Applications in Pedology, Environmental Science and Agriculture*. Academic Press, Elsevier, 2017. 454 p.
15. Сухорада А. В., Бондар К. М., Круглов О. В., Матвіїшина Ж. М., Меньшов О. І. Магнітні властивості ґрунтів та їх положення в ландшафті. *Фізична географія та геоморфологія: міжвідомчий науковий збірник*. 2005. Вип. 49. С. 36-43.

UDC: 631.551.321

Magnetic susceptibility of the soil near the Prydesnian water balance station**O. V. Kruglov^{1*}, S. A. Popov²**¹National Scientific Center «Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O. N. Sokolovsky», Kharkiv, Ukraine²Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

* Corresponding author: alex_kruglov@ukr.net

Received 29.10.2024, Revised 04.11.2024, Accepted 18.12.2019, Available online 27.12.2024

Abstract

Soil cover is one of the main sources of low-amplitude anomalies of the local magnetic field during high-precision detailed magnetic surveying. At the same time, the influence of the soil has certain landscape and lithological features and is of a regional nature, which requires a cycle of regional studies. The method of work is the study of the peculiarities of the spatial and profile distribution of the magnetic susceptibility of the soil as one of the main anomaly-forming factors in the conditions of the complicated topography of the Left Bank Polissia of Ukraine. For this, the study of magnetic susceptibility of soil sections in various landscape and hydrological conditions applied. Methods of determining the studied indicators: specific magnetic susceptibility - using a MS 2B magnetometer; volumetric magnetic susceptibility with a KM-7 capometer. The leading role of the properties of the geological rock in the formation of the magnetic properties of the soil profile has been established. The maximum values of magnetic susceptibility are characteristic of the watershed plateau and the upper parts of the streams. A decrease of up to 50 % noted on the eroded soils of the middle parts of the beams. The maximum reduction of MS is associated with the concentration of moisture and a high level of groundwater – the bottom part of the beams, local non-drainage areas.

Keywords: magnetometry; magnetic susceptibility; relief; soil; soil-forming rock

Citing: Kruglov, O. V., & Popov, S. A. (2024). Magnetic susceptibility of the soil near the Prydesnian water balance station. *AgroChemistry and Soil Science*, 97, 18-24. doi: 10.31073/acss97-02 [in Ukrainian]

References

1. Menshov, O. (2013). Magnetism of the earth's crust upper part: natural and technogenic components. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 1(60), 28-32. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.60.07> Retrieved from <https://geology.bulletin.knu.ua/article/view/1841> [In Ukrainian].
2. Jakšík, O., Kodešová, R., Kapička, A., Klement, A., Fér, M., & Nikodem, A.. (2016). Using magnetic susceptibility mapping for assessing soil degradation due to water erosion. *Soil and Water Research*, 11(2), 105–113. <https://doi.org/10.17221/233/2015-SWR>
3. Kruglov, O., Menshov, O., Kolada, V., Achasova, A., & Andreeva, O. (2023). Integrating of geophysical and agrochemical methods for slope lands studying. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 3(94), 53-58. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.94.06> [In Ukrainian].
4. Vyzhva, S., Popov, S., Bondar, K., Homenko, R., Ivko A., Andrichuk, Y., Kruhlov, B., Kruglov O., & Polyachenko, I. (2024). Improved methodology of detailed magnetometric survey to solve the problems of oil and gas geology. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 2(105), 29-36. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.105.04> [In Ukrainian].
5. Sukhorada, A., & Menshov, A. (2005). Total and effective magnetization of the soil cover of Ukraine and its role in magnetic surveys of the future. In *Theoretical and applied aspects of geoinformatics*. (pp. 278-280). Kyiv, 2005. [In Russian]
6. Lecoanet, H., Léveque, F., & Ambrosi, J. P. (2003). Combination of magnetic parameters: An efficient way to discriminate soil contamination sources (south France). *Environmental Pollution*, 122(2), 229–234. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(02\)00299-3](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00299-3)
7. Kruglov O. (2012). Peculiarities of the distribution of magnetic susceptibility of typical chernozem on slopes. *Bulletin of the Kharkiv National Agrarian University. Ser. Soil Science*, 4, 66-69.
8. Maxbauer, D. P., Feinberg, J. M., & Fox, D. L. (2017). Response of pedogenic magnetite to changing vegetation in soils developed under uniform climate, topography, and parent material. *Scientific Reports*, 7, 17575. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-17722-2>
9. Krupskiy N. K., & Polupan, M. I. (Eds.). (1979). *Soil Atlas of the Ukrainian SSR*. Kyiv: Urozhai. [In Russian].
10. Shveykin, Yu. V., Eshchenko, N. D., & Shveykina, I. I. (Eds.). (1986). *Long-term characteristics of the hydrometeorological regime of small watersheds of Ukraine* (materials observed in the Prydesnian VBS, Bohuslav PEGB, Great Anadol VBS). [In Russian].
11. Sokolovsky, A. N. (1956). *Agricultural Soil Science*. Moscow: Selkhozgiz. [In Russian].
12. Dearing, J. A. (1999). *Environmental Magnetic Susceptibility, Using the Bartington MS2 System* (2nd ed.). Chi Publishing.
13. Bouhlassa, S., & Bouhsane, N. (2023). Assessment of the impacts of land-use change and slope position on soil loss by magnetic susceptibility-based models. *International Journal of Sediment Research*, 38(3), 455-468. <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2022.11.006>
14. Jordanova, N. (2016). *Soil Magnetism Applications in Pedology, Environmental Science and Agriculture*. Academic Press, Elsevier.
15. Sukhorada, A., Bondar, K., Kruhlov, O., Matviyishyna, Zh., & Menshov, O. (2005). Magnetic properties of soils and their position in the landscape. *Fizychna Heohrafiya ta Heomorfologiya: Mizhvidomchy Naukovyi-Zbirnyk*, 49, 36-43. [in Ukrainian].