УДК 550.382.3+631.551.321

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.94.06>О. Круглов¹, канд. геол. наук, ст. наук. співроб.,

E-mail: alex_kruglov@ukr.net;

О. Меньшов², д-р геол. наук, ст. наук. співроб.,

E-mail: menshov.o@ukr.net;

В. Коляда¹, канд. сільгосп. наук, зав. лаб.;А. Ачасова¹, канд. біол. наук, доц., ст. наук. співроб.;О. Андреева², канд. геол. наук, наук. співроб.,

E-mail: andreeva_ea@ukr.net;

¹ННЦ "Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського",
вул. Чайковська, 4, м. Харків, Україна;²Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна

ДО ПИТАННЯ КОМПЛЕКСУВАННЯ ГЕОФІЗИЧНИХ ТА АГРОХІМІЧНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕНЬ СХИЛОВИХ ЗЕМЕЛЬ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. О.М. Карпенком)

Підвищення темпів деградації ґрунтового покриву сільськогосподарських земель України викликає необхідність удосконалення системи їхнього обстеження. У першу чергу йдеться про підвищення точності визначень і підвищення щільності мережі опробувань. Для виконання цих завдань залучаються нові методи, передусім з арсеналу геофізики. Певні переваги несе комплексне їхнє застосування, науково обґрунтоване раціональне поєднання. Протягом останнього часу отримано оптимістичні результати застосування даних про магнітну сприйнятливість ґрунту для характеристики його агрономічних властивостей. У даному дослідженні показано результати комплексного застосування низки агрохімічних методів і визначень питомої магнітної сприйнятливості (МС) на прикладі чорнозему опідзоленого Харківського району Харківської області. Установлено можливості проведення розбавки значень ґрунтових характеристик, виходячи з результатів визначення МС. Характер кореляції МС і вмісту гумусу дозволяють рекомендувати заміну більш вартісних визначень вмісту гумусу на більш дешеві визначення МС. За основу в ході досліджень схилових земель рекомендується приймати інформацію про МС ґрунту як найбільш доступну, що коректно відображає просторовий розподіл основних показників еродованих земель: вмісту гумусу та фізичної глини.

Ключові слова: ґрунт, гумус, ерозія, комплексування, магнітна сприйнятливість.

Вступ. Домінуючим процесом, що впливає на продовольчу безпеку людства, є прогресуюче зниження якості сільськогосподарських ґрунтів – деградація ґрунтового покриву. Серед факторів, що здатні знизити інтенсивність цього процесу – оптимізація землекористування, що базується на максимально можливій інформації про стан ґрунту. Це дозволяє застосовувати адекватні агротехнічні та агрохімічні заходи, що забезпечують вихід на рівень сталого землеробства. Особливо актуальним це є на схилових ґрунтах, коли деградаційні процеси прискорюються внаслідок проявів водної ерозії. Так, тільки в Україні налічується до 14 млн га таких земель. У цьому випадку внаслідок додаткової дисперсії значень характеристик ґрунтів отримання актуальної інформації про стан ґрунтового покриву пов'язано з необхідністю підвищення густини мережі опробувань. Середній розмір земельної ділянки в Україні становить близько 4 га, тобто всього налічується до 7 млн землекористувань. Ураховуючи можливості сучасних агрохімічних та агрофізичних методів, можна стверджувати про необхідність значних витрат трудових і матеріальних ресурсів, що часто перевищують можливості відповідних сервісних служб.

Розв'язання проблеми лежить у площині застосування інших, більш продуктивних методів. Більшість із них належить до арсеналу сучасної геофізики, це оптичні, магнітометричні та електрометричні (Dychkovskiy et al., 2020; Petlovanyi et al., 2019; Onanko et al., 2011). Крім того, широко використовуються дані космічної та аерозйомки. Проте тут існують певні труднощі методичного та технічного характеру – як і переважна більшість непрямих методів вони характеризуються високим ступенем невизначеності, що не дозволяє проводити однозначну інтерпретацію результатів цих досліджень. Така ж проблема пов'язана з точністю результатів математичного моделювання ерозійних процесів або потенційного змиву, вона залежить від якості вихідних картографічних матеріалів і коректності оцінки функціональності агролісомеліоративних протиерозійних

заходів. Масовому ж застосуванню оптичних методів заважає необхідність урахування особливостей ґрунтогенезу на рівні підтипу, що спричиняє значну невизначеність результатів (Сироткин и др., 2020).

Однак у практиці існує геофізична дисципліна, що покликана підвищувати достовірність висновків, отриманих у результаті застосування окремих методів. Це відбувається завдяки розробці ефективних схем їхнього комплексування.

Мета роботи – показати основні напрями розробки схем комплексування методів досліджень схилових земель.

Стан проблеми. Комплексування, а точніше комплексна інтерпретація результатів, отриманих різними методами, відбувається за допомогою створення багатознакової моделі, кожен структурний елемент якої характеризується кількома величинами, що мають різну природу (Известия..., 1994). Для комплексування зазвичай відбираються методи, імовірність яких перевищує 0,5 (Сергій, 2008). Комплексування методів досліджень є однією з основ проведення сучасного бонітування ґрунтів (Миллер і Безродова, 2014).

Такий важливий елемент ґрунтознавства, як побудова ґрунтової карти, включає в себе такі складові: морфологічні ознаки ґрунтового розрізу, агрохімічні та агрофізичні показники. Інтерполяція даних опорних розрізів відбувається за показниками рельєфу (гіпсометричні позначки) або ж за структурними елементами ландшафту (Розанов, 1975). Це свідчить про те, що комплексування методів досліджень лежить у самій основі сучасного ґрунтознавства. Загалом ця наука, як вважається, об'єднала (з певною модифікацією) методи фізики, хімії, біології, геології, мінералогії та інших наук (Герасимов, 1974). Необхідність проведення більш точних і масових досліджень зумовила залучення низки нових методів, передусім геофізичних. Ще з 50-х рр. минулого століття для діагностики генетичних горизонтів профілю застосовується магнітна сприйнятливості ґрунту (Borgne, 1955).

З розвитком засобів вимірювальної техніки та методик проведення вимірювань спостерігається зростання кількості застосування методів геофізики для досліджень ґрунтового покриву. Передусім це стосується оптичних і магнітометричних методів. Так було досліджено високий ступінь зв'язку між значеннями магнітної сприйнятливості в ґрунтах і вмісту в них органічної речовини (Круглов та ін., 2018; Меньшов, 2016, 2018; Меньшов та ін., 2016). Це дало змогу рекомендувати метод для заміни більш вартісного вимірювання вмісту гумусу у випадках, коли необхідно отримати досить щільну мережу вимірювань, передусім у разі вимірювання еродованості ґрунтів та оцінки його втрат (Royall, 2007; Jakšik et al., 2016). Було запропоновано проводити розробку аномальних значень результатів ерозійного моделювання за допомогою картограм значень МС (Круглов та ін., 2020).

Слід зазначити, що саме МС ґрунту стала найбільш досліджуваною його характеристикою. Було доведено тісний зв'язок між цим показником і вмістом фізичної глини $R^2 = 0,83$, загальним вуглецем $R^2 = 0,85$ і загальним азотом $R^2 = 0,77$ (de Souza Bahia et al., 2017). На прикладі тропічних фералітичних ґрунтів Колумбії показано зв'язок об'ємної МС з їхніми основними фізичними показниками: вміст піску $R = 0,88$, вміст глинистої фракції $R = 0,85$, густина ґрунту $R = 0,51$ і теплопровідність $R = 0,67$ (Jimenez et al., 2017).

Високий ступінь кореляції вмісту гумусу та МС чорнозему на схилах дозволив зробити припущення про зв'язок магнітних параметрів з іншими, що визначаються розвитком ерозійних процесів. Такий дослід було поставлено на півночі Харківщини: показано тісний зв'язок МС, вмісту гумусу, вмісту фізичної глини та результатів ерозійного моделювання (індекс ерозійної небезпеки за М.В. Куценком) (Круглов, 2012). Ущільнення мережі опробувань у три рази підтвердило встановлені факти. Це дозволяє стверджувати про можливість часткової заміни більш вартісних визначень гумусу магнітометричними дослідженнями та використання МС як індикатора ґрунтових умов.

Узагалі картограми просторового розподілу МС як по латералі так і по вертикалі починають використовуватися як фактор зонування окремих робочих ділянок (Miroshnychenko et al., 2020) за основними агрономічними властивостями, а також для виділення зон забруднення ґрунтового покриву (Łukasik et al., 2021). Вважається, що деякі елементи мають тісну кореляцію із частотно-залежною МС або ж асоційовані з питомою МС (Grison et al., 2018; Menshov et al., 2021).

Застосування інших геофізичних методів, насамперед електророзвідки, пов'язано з визначенням вологості ґрунту та рівня ґрунтових вод. Якщо останній має значення лише для визначення потенційних розвитку галоморфних процесів, то вологість кореневмісного шару (на глибину, що значно перевищує глибини традиційних агрофізичних визначень) є основою як для програмування врожайності, так і для висновків з екології ґрунтогенезу (Шепель та ін., 2003).

Методи дистанційного зондування попри високу економічну ефективність мають низку обмежень. Перш за все, це необхідність роботи з ділянками без рослинного покриву з однорідним механічним оброботком ґрунту. Таким чином, поза увагою залишаються площі, на яких застосовуються технології no-till і mini-till і посіви багаторічних культур, які в умовах глобального потепління розширюються. Методи електророзвідки обмежені погодними умовами (випадання опадів) і

підвищеною щільністю ґрунту, що не дає змоги контролювати рівномірність установлення електродів.

Усе це створює передумови для поширення застосування саме магнітних методів і комплексування їх з іншими технологіями.

Методи та територія дослідження. У процесі виконання даної роботи використано стандартизовані визначення вмісту органічного вуглецю (із подальшим перерахунком у гумус) за ДСТУ ISO 14235:2005 і визначення гранулометричного складу ґрунту методом піпетки в модифікації Н.А. Качинського (ДСТУ-4730:2007). Характеристику ерозійного статусу земель проводили за допомогою математичного моделювання: визначення індексу ерозійної небезпеки (Куценко та Тимченко, 2016). Питому магнітну сприйнятливості ґрунту визначали за допомогою капамістка KLY-2 (Чехія) за методикою (Evans and Heller, 2003). Маса зразка ґрунту визначалася за допомогою електронних ваг ОНАУС 402. Використовувались методики відбору ґрунтових проб за ДСТУ 4287:2004. Візуалізація результатів дослідження проводилася у середовищі QGIS. Проведено статистичний аналіз даних за допомогою стандартного програмного пакету.

Дослідна ділянка була розташована в ареалі поширення чорноземів опідзолених – північна частина Харківського району Харківської області. Вона використовується в активному сільськогосподарському обробітку – вирощування польових сільськогосподарських культур. Типова належність ґрунту була визначена за даними великомасштабного обстеження та підтверджена польовими дослідженнями. Уміст гумусу в ґрунті – 2,7–4,4 %, фізичної глини – 48–57 %, МС – $509\text{--}811 \times 10^{-9} \text{ м}^3/\text{кг}$. Схили характеризуються ухилом до 6° та довжиною до 550 м, діапазон значень індексу ерозійної небезпеки становить від 0,46 до 1,79.

Виклад основного матеріалу. Схилі землі – це ареал специфічного ґрунтоутворення, особливості якого визначаються сполученням двох груп факторів, що мають виражену просторову неоднорідність впливу, яка відбивається у диференціації їхнього ґрунтового покриву. Природні чинники – просторова неоднорідність гідротермічних умов, що спричиняється трансформувальним впливом рельєфу та неоднорідності просторового розподілу ґрунтоутворних порід. Це спричиняє відмінність умов ґрунтогенезу від фонових (такі, що властиві плакорним землям) параметрів балансу тепла та вологи. Така неоднорідність у свою чергу стає причиною як неоднорідності розвитку рослинного покриву, так і умов трансформації органічної речовини, формування таких параметрів ґрунту, як уміст гумусу, глибина профілю та його морфологічна будова. Трансформувальний вплив рельєфу зумовлює неоднорідність ґрунтово-гідрологічних процесів на схилах і наявність зон з різним ризиком розвитку ерозійних процесів.

Антропогенні чинники – сільськогосподарське та лісгосподарське використання земель змінює напрямок ходу природних процесів ґрунтоутворення, підсилюючи та переспрямовуючи поверхневий і внутрішній стік, змінюючи процеси евапотранспірації та інтенсивність біогеохімічного колообігу на схилах за рахунок антропогенної трансформації рослинного покриву та механічного обробітку ґрунту, хімізації. Саме ці чинники і визначають комплекс методів досліджень схилів земель.

Загалом склад комплексу методів визначають залежно від завдань дослідження, вони по можливості не повинні дублюватися (Новицький, 1974). Такими завданнями під час дослідження схилів земель є ерозійний статус (ступінь еродованості та ступінь потенційного

змиву), точні значення агрономічних характеристик (уміст гумусу, рН, уміст елементів живлення, щільність будови та деякі ін.). Передусім слід проаналізувати можливості відомих закономірностей та залежностей, отриманих за допомогою геофізичних методів в агроландшафтах України.

Фізичний зміст застосування різних видів магнітної сприйнятливості полягає в існуванні педогенних сполук заліза, утворення яких викликано умовами ґрунтогенезу (Jordanova, 2016). Як правило, вони концентруються в дрібніших фракціях ґрунту. Нашими дослідженнями було показано залежність гранулометричного складу (уміст фізичної глини – сума фракцій $\leq 0,01$ мм) схилових ґрунтів від МС ґрунту (рис. 1).

Рис. 1. Графік залежності МС ґрунту та вмісту фізичної глини на прикладі чорнозему опідзоленого Харківського району Харківської області

Дані на рис. 1 свідчать про тісний зв'язок між досліджуваними показниками на всьому діапазоні значень ($R^2 = 0,76$). Певні розбіжності спостерігаються лише для низьких значень вмісту фізичної глини (у лівому нижньому куті графіка). На нашу думку, це загалом підтверджує гіпотезу про концентрацію феромагнітних мінералів у тонких фракціях чорноземів.

Уміст фізичної глини в ґрунтах корелює з результатами математичного моделювання ерозії (рис. 2). Тенденція зниження цього показника вниз по схилу для автоморфних ґрунтів загальновідома (Джерард, 1984). У даному випадку ($R^2 = 0,75$), він також знижується з ростом потенційної енергії тимчасових водних потоків. Індекс ерозійної небезпеки показує кратність перевищення водним потоком порогової нерозмивної швидкості.

Як і в попередньому випадку ми спостерігаємо максимальні розбіжності між досліджуваними рядами в області мінімальних значень вмісту фізичної глини та відповідно в зоні, найбільш схильної до ерозії. У структурі ґрунтового покриву цієї частини поля відмічається присутність перевідкладеної ґрунтової речовини.

Зв'язок між МС та індексом ерозійної небезпеки більш тісний ($R^2 = 0,88$). Тут відсутні суттєві відхилення від очікуваних значень (рис. 3). У результаті виникають сумніви в коректності визначення вмісту фізичної глини у двох означених пробах.

Щодо вмісту гумусу в пробах, то він демонструє тісний зв'язок з усіма досліджуваними характеристиками (рис. 4). Коефіцієнт кореляції з МС більш виражений: $R^2 = 0,84$, з показником індексу ерозійної небезпеки нижчий, з вмістом фізичної глини $R^2 = 0,41$.

Знову спостерігається неузгодження в області малих значень вмісту фізичної глини. Дві проби з

найменшими значеннями показника найбільш відхиляються від очікуваних значень, тоді як для МС це не визначено. Порівнявши два графіки, можна зробити висновок про необхідність вибірки двох вимірювань вмісту фізичної глини. У результаті цього заходу кореляція між досліджуваними показниками суттєво зростає.

Рис. 2. Графік залежності індексу ерозійної небезпеки схилових земель та вмісту фізичної глини в ґрунті на прикладі чорнозему опідзоленого Харківського району Харківської області

Рис. 3. Графік залежності індексу ерозійної небезпеки схилових земель і МС ґрунту на прикладі чорнозему опідзоленого Харківського району Харківської області

Рис. 4. Графік залежності МС ґрунту та вмісту фізичної глини і гумусу на прикладі чорнозему опідзоленого Харківського району Харківської області

Коефіцієнт кореляції значень МС та вмісту гумусу з індексом ерозійної небезпеки досить тісний (рис. 5).

Рис. 5. Графік залежності МС ґрунту, вмісту гумусу та індексу ерозійної небезпеки на прикладі чорнозему опідзоленого Харківського району Харківської області

Як свідчать дані рис. 5 значення коефіцієнта кореляції МС та вмісту гумусу з індексом ерозійної небезпеки практично однакові. Вищі відхилення від очікуваних значень характерні, порівняно з МС, для значень вмісту гумусу.

Водночас тісний характер кореляції МС та вмісту гумусу дозволяють рекомендувати заміну більш вартісних визначень вмісту гумусу на більш дешеві МС. Взагалі за основу в процесі дослідження схилів земель оптимальніше було б приймати інформацію про МС ґрунту як найбільш доступну, що коректно відображає просторовий розподіл основних показників еродованих земель: вмісту гумусу та фізичної глини.

Висновки. У результаті проведених досліджень показано приклад комплексування досліджень схилів земель на прикладі чорнозему опідзоленого Харківського району Харківської області. Установлено можливості проведення розробки значень ґрунтових характеристик, виходячи з результатів визначення МС. Характер кореляції МС та вмісту гумусу дозволяє рекомендувати заміну більш вартісних визначень вмісту гумусу на більш дешеві МС. Установлено зв'язок між МС та індексом ерозійної небезпеки на рівні $R^2 = 0,88$. Щодо вмісту гумусу в пробах, то він демонструє тісний зв'язок з усіма досліджуваними характеристиками, коефіцієнт кореляції з МС достатньо виражений: $R^2 = 0,84$. Рекомендується комплексування магнітних методів з методами дистанційного зондування для ділянок без рослинного покриття з однорідним механічним обробітком ґрунту, електророзвідкою з урахуванням опадів і підвищеної щільності ґрунтового покриття.

Список використаних джерел

- Герасимов, І.П. (1974). Рождение почвоведения как самостоятельной естественной науки и роль Международного общества почвоведов в его дальнейшем развитии. *Почвоведение*, 7, 3–15.
- Джерард, А.Дж. (1984). Почвы и формы рельефа. Л.: Недра.
- Известия высших учебных заведений: Геология и разведка. (1994). М.
- Круглов, О., Коляда, В. та ін. (2020). До питання дослідження інформаційного забезпечення створення сталих агроландшафтів. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*, 34, 184–193.
- Круглов, О., Меньшов, О., Улько, Є., Кучер, А., Назарок, П. (2018). Індикація ерозійних процесів у ґрунтовому покритті Харківської області за магнітними даними. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 3(82), 36–44.
- Круглов, О.В. (2012). Особливості розподілу магнітної сприйнятливості чорнозему типового на схилах. *Вісник Харківського нац. аграрного ун-ту. Сер. Ґрунтознавство*, 4, 66–69.
- Кученко, М.В., Тімченко, Д.О. (2016). Теоретичні основи організації системи охорони ґрунтів від ерозії в Україні: монографія. Харків: Миська друкарня.
- Меньшов, О., Кудеравець, Р., Попов, С., Хоменко, Р., Сухорада, А., Чоботок, І. (2016). Термагнітний аналіз ґрунтів територій покладів вуглеводнів. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 2(73), 33–37.

Меньшов, О.І. (2016). Застосування магнітних методів для контролю змін продуктивних земель. *Геофізичний журнал*, 38(4), 130–137.

Меньшов, О. (2018). Роль магнетотактичних бактерій у формуванні природного магнетизму ґрунтів України. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 80(1), 40–45.

Миллер, Г.Ф., Безбородова, А.Н. (2014). Сочетание оценочных методов при исследовании эрозионно-опасных и эродированных почв Присалаирья. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*, 16, 1(4), 1099–1101. Отримано з <https://cyberleninka.ru/article/n/sochetanie-otsenочnyh-metodov-pri-issledovanii-erozionno-opasnyh-i-erodirovannyh-pochv-prisalaurya>

Новицкий, Г.П. (1974). Комплексирование геофизических методов разведки. Л.: Недра.

Розанов, Б.Г. (1975). Генетическая морфология почв. М.: Изд-во Московского университета

Сергій, Г.Б. (2008). Деякі питання спрощеного підходу до оцінки ймовірностей достовірності комплексної інтерпретації. *Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики. Зб. наук. пр.*, 121–126.

Сироткин, В.В., Васюков, С.В., Усманов, Б.М. (2020). Изучение почвенных параметров на основе полевых спектрометрических данных. *Вестник Удмуртского университета. Серия "Биология. Науки о Земле"*, 30 (1), 71–82.

Шепель, С.І., Рева, М.В., Онищук, І.І., Сухорада, А.В. (2003). Електрометрія ґрунтів України. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 1(26), 36–39.

Borgne, E. (1955). Susceptibilité Magnétique anormal du sol susperficiel. *Annales de Geophysique*, V.11, 4, 399–419.

De Souza Bahia, A., Marques Junior, J., La Scala Junior, Cerri, C.E., Camargo, L.A. (2017). Prediction and Mapping of Soil Attributes using Diffuse Reflectance Spectroscopy and Magnetic Susceptibility. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 81, 1450–1462.

Dychkovskiy, R., Shavarskiy, Ia., Saik, P., Lozynskiy, V., Falshtynskiy, V., Cabana, E. (2020). Research into stress-strain state of the rock mass condition in the process of the operation of double-unit longwalls. *Mining of Mineral Deposits*, 14(2), 85–94. <https://doi.org/10.33271/mining14.02.085>

Evans, M., Heller, F. (2003). Environmental magnetism: principles and applications of enviromagnetics. Academic press.

Grisson, H., Petrovsky, E., Kapicka, A., Hanzlikova, H. (2018). How Magnetic Susceptibility Reflects the Distribution of Major and Trace Elements in Forest Andosols in the French Massif Central. *16th Castle Meeting New Trends on Paleo, Rock and Environmental Magnetism, Chęciny, Poland*, 423 (C-112), 49–50.

Jakšić, 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 & Water Res.*, 11, 105–113.

Jimenez, A., Cristian et al. (2017). Relationship between physical properties and the magnetic susceptibility in two soils of Valle del Cauca. *Rev. Cienc. Agr.* [online], 34, 2, 33–45. ISSN 0120-0135.

Jordanova, N. (2016). Soil magnetism. Academic Press.

Łukasik, A., Szuszkiewicz, M., Wanic, T., Gruba, P. (2021). Three-dimensional model of magnetic susceptibility in forest topsoil: An indirect method to discriminate contaminant migration. *Environmental Pollution*, 274, 116491.

Menshov, O., Kруглов, O., Vyzhva, S., Horoshkova, L., Pereira, P., Pastushenko, T., Dindaroglu, T. (2021). Landscape Position Effects on Magnetic Properties of Soils in the Agricultural Land Pechenig, Ukraine. *Earth Systems and Environment*, 1–12. <https://doi.org/10.1007/s41748-021-00240-7>

Menshov, O., Kруглов, O., Vyzhva, S., Nazarov, P., Pereira, P., Pastushenko, T. (2018). Magnetic methods in tracing soil erosion, Kharkov Region, Ukraine. *Stud. Geophys. Geod.*, 62, 681–696. DOI:10.1007/s11200-018-0803-1

Miroshnychenko, M., Kruglov, O., Nazarov, P., Kovalenko, S. (2021). Identification of the Structure of Soil Cover by Magnetic Susceptibility. In book: *Soils Under Stress*. Springer.

Onanko, Y.A., Prodayvoda, G.T., Vyzhva, S.A., Onanho, A.P., Kulish, M.P. (2011). The Computerized System of Processing of Measurements of Longitudinal and Transverse Velocities of Ultrasound. *Metallofizika i noveishie tekhnologii*, 33, 529–533.

Petlovanyi, M., Kuzmenko, O., Lozynskyi, V., Popovych, V., Sai, K., Saik, P. (2019). Review of man-made mineral formations accumulation and prospects of their developing in mining industrial regions in Ukraine. *Mining of Mineral Deposits*, 13(1), 24–38. <https://doi.org/10.33271/mining13.01.024>

Royall, D. (2007). A comparison of mineral-magnetic and distributed RUSLE modeling in the assessment of soil loss on a southeastern U.S. cropland. *Catena*, 69, 170–180.

References

Borgne, E. (1955). Susceptibilité Magnétique anormal du sol superficiel. *Annales de Géophysique*, V.11, 4, 399–419.

De Souza Bahia, A., Marques Junior, J., La Scala Junior, Cerri, C.E., Camargo L.A. (2017). Prediction and Mapping of Soil Attributes using Diffuse Reflectance Spectroscopy and Magnetic Susceptibility. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 81, 1450–1462. DOI: 10.2136/sssaj2017.06.0206

Dychkovskiy, R., Shavarskiy, I., Saik, P., Lozynskyi, V., Falshtynskiy, V., Cabana, E. (2020). Research into stress-strain state of the rock mass condition in the process of the operation of double-unit longwalls. *Mining of Mineral Deposits*, 14(2), 85–94. <https://doi.org/10.33271/mining14.02.085>

Dzherard, A. Dzh. (1984). *Pochvy i formy rel'yefa*. L.: Nedra.

Evans, M., Heller, F. (2003). *Environmental magnetism: principles and applications of environmental magnetism*. Academic press. ISBN: 9780122438516

Gerasimov, I.P. (1974). Rozhdeniye pochvovedeniya kak samostoyatel'noy yestestvennoy nauki i rol' Mezhdunarodnogo obshchestva pochvovedov v yego dal'neyshem razviti. *Pochvovedeniye*, 7, 3–15.

Grisson, H., Petrovsky, E., Kapicka, A., Hanzlikova, H. (2018). How Magnetic Susceptibility Reflects the Distribution of Major and Trace Elements in Forest Andosols in the French Massif Central. *16th Castle Meeting New Trends on Paleo, Rock and Environmental Magnetism, Chęciny, Poland*, 423 (C-112), 49–50. DOI: 10.25171/InstGeoph_PAS_Pubs-2018-026

Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy: Geologiya i razvedka. (1994). M.

Jakšik, 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 & Water Res.*, 11, 105–113. DOI: 10.17221/233/2015-SWR

Jimenez, A., Cristian et al. (2017). Relationship between physical properties and the magnetic susceptibility in two soils of Valle del Cauca. *Rev. Cienc. Agr.* [online], 34, 2, 33–45. ISSN 0120-0135. <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.173402.70>

Jordanova, N. (2016). *Soil magnetism*. Academic Press. ISBN: 9780128092392

Kruglov, O., Menshov, O., Ulko, E., Kucher, A., Nazarov, P. (2018). Soil erosion indication by magnetic methods in Kharkiv region. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 3(82), 36–44.

Kruhlov, O., Kolyada, V. et al. (2020). Do pytannya doslidzhennya informatsynoho zabezpechennya stvorenniya stal'nykh ahrolandshaftiv. *Lyudyna ta dovkillya. Problemy neoeekolohiyi*, 34, 184–193. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2020-34-18>

Kruhlov, O.V. (2012). Osoblyvosti rozpodilu mahnitnoyi spryynatlyvosti chornozemu typovoho na skhyklakh. *Visnyk Kharkivsk'oho nats. ahroho un-tu. Ser. Hruntoznastvo*, 4, 66–69.

Kutsenko, M.V., Timchenko, D.O. (2016). Teoretychni osnovy orhanizatsiyi systemy okhorony gruntiv vid eroziyi v Ukraini: monohrafiya. Kharkiv: Mis'ka drukarnya.

Lukasik, A., Szuszkiewicz, M., Wanic, T., Gruba, P. (2021). Three-dimensional model of magnetic susceptibility in forest topsoil: An indirect method to discriminate contaminant migration. *Environmental Pollution*, 274, 116491. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116491>

Menshov, O. (2018). The role of magnetotactic bacteria in formation of natural magnetism of Ukraine soils. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 80(1), 40–45.

Menshov, O., Kruglov, O., Vyzhva, S., Horoshkova, L., Pereira, P., Pastushenko, T., Dindaroglu, T. (2021). Landscape Position Effects on Magnetic Properties of Soils in the Agricultural Land Pechenig, Ukraine. *Earth Systems and Environment*, 1–12. <https://doi.org/10.1007/s41748-021-00240-7>

Menshov, O., Kuderavets, R., Popov, S., Homenko, R., Sukhorada, A., Chobotok, I. (2016). Thermomagnetic analyzes of soils from the hydrocarbon fields. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 2(73), 33–37.

Menshov, O.I. (2016). Magnetic method applying for the control of productive land degradation. *Geofizicheskij zhurnal*, 38(4), 130–137.

Menshov, O., Kruglov, O., Vyzhva, S., Nazarov, P., Pereira, P., Pastushenko, T. (2018). Magnetic methods in tracing soil erosion, Kharkov Region, Ukraine. *Stud. Geophys. Geod.*, 62, 681–696. DOI: 10.1007/s11200-018-0803-1

Miller, G.F., Bezborodova, A.N. (2014). Sochetaniye otsenochnykh metodov pri issledovanii erozionno-opasnykh i erodirovannykh pochv Prislalir'ya. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 16, 1(4), 1099–1101. Retrieved from: <https://cyberleninka.ru/article/n/sochetanie-otsenochnykh-metodov-pri-issledovanii-erozionno-opasnykh-i-erodirovannykh-pochv-prislalirya>

Miroshnychenko, M., Kruglov, O., Nazarov, P., Kovalenko, S. (2021). Identification of the Structure of Soil Cover by Magnetic Susceptibility. In book: *Soils Under Stress*. Springer. DOI: 10.1007/978-3-030-68394-8_6

Novitskiy, G.P. (1974). Kompleksirovaniye geofizicheskikh metodov razvedki. L.: Nedra.

Onanko, Y.A., Prodayvoda, G.T., Vyzhva, S.A., Onanho, A.P., Kulish, M.P. (2011). The Computerized System of Processing of Measurements of Longitudinal and Transverse Velocities of Ultrasound. *Metallofizika i noveishie tekhnologii*, 33, 529–533.

Petlovanyi, M., Kuzmenko, O., Lozynskyi, V., Popovych, V., Sai, K., Saik, P. (2019). Review of man-made mineral formations accumulation and prospects of their developing in mining industrial regions in Ukraine. *Mining of Mineral Deposits*, 13(1), 24–38. <https://doi.org/10.33271/mining13.01.024>

Royall, D. (2007). A comparison of mineral-magnetic and distributed RUSLE modeling in the assessment of soil loss on a southeastern U.S. cropland. *Catena*, 69, 170–180. DOI: 10.1016/j.catena.2006.06.001

Rozanov, B. G. (1975). *Geneticheskaya morfologiya pochv*. M.: Izd-vo Moskovskogo universiteta.

Serhiy, H.B. (2008). Deyaki pytannya sproshchenoho pidkhotu do otsinky ymovirnostey dostovirnosti kompleksnoyi interpretatsiyi. *Teoretychni ta prykladni aspekty heoinformatyky. Zb. nauk. pr.*, 121–126. <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/12607>

Shepel, S.I., Reva, M.V., Onyshchuk, I.I., Sukhorada, A.V. (2003). Elektrometriya hruntiv Ukrainy. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 1(26), 36–39.

Sirotkin, V.V., Vasyukov, S.V., Usmanov, B.M. (2020). Izucheniye pochvennykh kharakteristik na osnove polevykh spektrometricheskikh dannykh. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya "Biologiya. Nauki o Zemle"*, 30 (1), 71–82. DOI: 10.35634/2412-9518-2020-30-1-71-82

Надійшла до редколегії 25.03.21

O. Kruglov1, PhD (Geol.), Senior Researcher,

E-mail: alex_kruglov@ukr.net;

O. Menshov2, Dr. Sci.(Geol.), Senior Researcher,

E-mail: menshov.o@ukr.net;

V. Kolada1, PhD (Agri.), Head of Laboratory;

A. Achasova1, PhD (Biol.), Senior Researcher;

O. Andreeva2, PhD (Geol.), Researcher;

1NSC "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research n. a. O.N. Sokolovskiy",

4 Chaikovska Str., Kharkiv, Ukraine.

2Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology,

90, Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

INTEGRATING OF GEOPHYSICAL AND AGROCHEMICAL METHODS FOR SLOPE LANDS STUDYING

The increasing of the soil degradation of agricultural lands in Ukraine requires the improvement of their survey system. First of all, it is related to the increase of the accuracy of determinations and the density of the measurement grid. To perform these tasks, new methods are involved, primarily the geophysics ones. There are certain advantages of the integration of the studies as well as development of the substantiated rational combination of methods. Recently, promising results of the application of the magnetic susceptibility of soil to characterize the agronomic properties have been obtained. This study shows the results of the integrated application of a number of agrochemical methods and determinations of mass-specific magnetic susceptibility (MS) on the example of podzolized chernozems of Kharkiv district of Kharkiv region. We identified the possibilities of culling of values of soil characteristics from the proceeding of the results of definition of MS. The nature of the correlation between MS and humus content allows us to recommend the replacement of more expensive determination of humus content with cheaper MS. Soil magnetic susceptibility correctly reflects the spatial distribution of the main indicators of eroded lands: the humus content, and physical clay. We propose the study of sloping lands with more optimal techniques of the MS measurement of the soil as the most accessible tool.

Keywords: soil, humus, erosion, integrating, magnetic susceptibility.

А. Круглов¹, канд. геол. наук, ст. науч. сотр.,

E-mail: alex_kruglov@ukr.net;

А. Меньшов², д-р геол. наук, ст. науч. сотр.,

E-mail: menshov.o@ukr.net;

В. Коляда¹, канд. сельхоз. наук, зав. лаб.;

А. Ачасова¹, канд. биол. наук, доц., ст. науч. сотр.;

Е. Андреева², канд. геол. наук, науч. сотр.;

¹ННЦ "Институт почвоведения и агрохимии имени А.Н. Соколовского",

ул. Чайковская, 4, г. Харьков, Украина;

²Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,

УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

К ВОПРОСУ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ И АГРОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗЕМЕЛЬ НА СКЛОНЕ

Ускорение темпов деградации почвенного покрова сельскохозяйственных земель Украины вызывает необходимость совершенствования системы их обследования. В первую очередь речь идет о повышении точности определений и плотности сети измерений. Для выполнения этих задач привлекаются новые методы, прежде всего из арсенала геофизики. Определенные преимущества несет комплексное их применение, научно обоснованное рациональное сочетание. В последнее время получены оптимистические результаты применения данных о магнитной восприимчивости почвы для характеристики агрономических свойств. В данном исследовании показаны результаты комплексного применения ряда агрохимических методов и определений удельной магнитной восприимчивости (МВ) на примере черноземов оподзоленных Харьковского района Харьковской области. Установлены возможности проведения разbroвки значений почвенных характеристик, исходя из результатов определения МВ. Характер корреляции МВ и содержания гумуса позволяет рекомендовать замену более дорогих определений содержания гумуса на более дешевые измерения МВ. За основу при исследованиях земель на склонах рекомендуется принимать информацию о МВ почвы как наиболее доступную информацию, которая корректно отражает пространственное распределение основных показателей эродированных земель: содержание гумуса и физической глины.

Ключевые слова: почва, гумус, эрозия, комплексирование, магнитная восприимчивость.