

## ДІАГНОСТИКА ТИПОВОЇ ПРИНАЛЕЖНОСТІ ҐРУНТІВ ЗА ПОКАЗНИКАМИ ОПТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

І.В.Костенко

*Нікітський ботанічний сад – Національний науковий центр, igorkostenko@ukr.net*

Наводяться результати вивчення за допомогою офісного сканера оптичних показників ґрунтових зразків, а також найбільш оптично активної частини ґрунту – гумусу за допомогою спектрофотометричного визначення оптичної щільності розчинів гумусових речовин. Отримані дані свідчать про ефективність запропонованих методів у визначенні типової приналежності ґрунтів, особливо в умовах строкатого ґрунтового покриття гірського Криму.

*Ключові слова: оптичні властивості ґрунтів, офісний сканер, комп'ютерний аналіз, оптична щільність гумусових речовин.*

**Вступ.** Колір відноситься до однієї з фундаментальних характеристик, на якій традиційно базується ґрунтова діагностика та класифікація, оскільки забарвлення є інтегральним відображенням хімічного складу ґрунтів та процесів, що в них протікають. Тому на протязі багатьох років дослідники намагалися віднайти спосіб об'єктивного визначення оптичних показників ґрунту за допомогою інструментальних методів аналізу. Традиційним методом вивчення спектральної відбивної здатності ґрунтів в польових та лабораторних умовах, починаючи з першої половини ХХ ст., є спектрофотометричний. За його допомогою встановлено основні закономірності відображення світла ґрунтами, виявлено характер зв'язку між вмістом основних забарвлюючих компонентів і оптичними показниками, що дало змогу використовувати результати вивчення відбивної здатності для характеристики хімічного складу ґрунтів із метою діагностики та дистанційного картування [7, 14, 15].

Останнім часом популярним інструментом вивчення оптичних характеристик ґрунтів стали цифрові фотокамери, які досить успішно використовуються для вивчення будови профілю ґрунту, його мікроструктури, ерозійних процесів, гранулометричного складу, гумусованості, вологості, вмісту оксидів заліза [1, 2, 13, 16, 17, 18]. Для аналізу растрових зображень фахівцями Національного аграрного університету було розроблено спеціальну комп'ютерну програму, за допомогою якої можна розраховувати середнє значення яскравості обраного фрагмента у трьох спектральних каналах: червоному, зеленому, синьому (RGB). Одночасно аналізують зображення білого еталону. Коефіцієнт яскравості досліджуваного зразка розраховується як співвідношення яскравості ґрунту і еталона, помножене на 100 [1, 2]. Але, не дивлячись на простоту виконання, використання цифрових фотокамер для аналізу кольору ґрунту має певні незручності, пов'язані з необхідністю кожного разу чітко витримувати умови проведення зйомки (відстань між камерою і об'єктом, освітленість, налаштування камери) та обов'язково користуватися еталонами. Тому замість цифрової камери нами було запропоновано та успішно апробовано можливість використання офісного сканера, на якому зображення формується в абсолютно однакових та легко контрольованих умовах, що виключає можливість впливу сторонніх факторів і необхідність використання еталона [5, 6]. Це дозволяє користуватися не відносними, а абсолютними значеннями RGB, що, в свою чергу, дає змогу відтворювати колір зразка ґрунту за допомогою графічного редактора на будь-якому комп'ютері.

Крім вивчення оптичних характеристик зразків ґрунту в цілому, важливим є також аналіз впливу на колір окремих його компонентів, насамперед гумусу. Найзручнішим показником, що об'єктивно відображає оптичні властивості органічної складової ґрунту, можна вважати оптичну щільність гумусових речовин (ГР), екстрагованих за допомогою лу-

жних чи кислотних розчинів. Як свідчать результати багатьох досліджень [8, 9, 10, 12], найбільш специфічним показником для кожного типу ґрунту є оптична щільність гумінових кислот (ГК), що дає підстави для перевірки можливості його використання при діагностиці типової приналежності ґрунтів.

Необхідність залучення додаткових показників до ґрунтової діагностики та класифікації пов'язана з існуючими протиріччями у діагностиці лісових ґрунтів Криму, які часто поділяють на коричневі та бурі лісові за висотою над рівнем моря та складом рослинності. Насамперед це стосується насичених лісових ґрунтів на карбонатних породах в межах південного макросхилу Кримських гір, які за основними фізичними, хімічними та фізико-хімічними показниками є дуже близькими, що часто ставить під сумнів обґрунтованість їхнього віднесення до різних типів.

Метою досліджень був порівняльний аналіз оптичних властивостей ґрунтів та розчинів гумусових речовин для оцінки можливості їхнього використання в якості допоміжного засобу діагностики типової приналежності при ґрунтових обстеженнях.

**Об'єкти та методи.** Для досліджень відібрано зразки бурозему опідзоленого та коричневого ґрунту (південний макросхил Кримських гір в межах східної та західної частин Ялтинського амфітеатру), чорнозему звичайного (Хомутовський степ, Донецька область) та чорнозему південного (Сімферопольський район). В зразках визначали вміст загального вуглецю, груповий склад гумусу [4], оптичну щільність (Е-величини) ГР безпосередньо у пірофосфатній витяжці з ґрунту, а також окремо кислотного розчину ФК та лужного розчину ГК [10]. Для визначення оптичної щільності розчинів ГР та ГК концентрацію останніх доводили розведенням до 50 мг/л по вуглецю та використовували кювету 0.5 см. Оптичну щільність ФК визначали без розведення розчину у кюветах 0.5-1 см. Крім того, визначали коефіцієнт кольоровості розчину ГК, як відношення оптичної щільності за довжин хвилі 465 та 665 нм [9]. Гранулометричний склад ґрунту визначали за Качинським з підготовкою зразків пірофосфатним методом. Уміст вільних (несилікатних) форм заліза визначали дітіонітовим методом за Коффіном [3] з використанням атомно-абсорбційного спектрофотометра С-115 ПКС.

Для сканування зразків ґрунту було створено 8-секційну скляну кювету розміром 32x23 см, в кожену секцію якої поміщали окремий зразок ґрунту. Кювету встановлювали на робочу поверхню сканера Primax One Touch 5300, закривали від впливу світла і сканували у кольоровому режимі за роздільної здатності 100 dpi. Значення RGB отриманих зображень розраховували за допомогою програми LDE [1, 2].

**Результати та їх обговорення.** Аналіз результатів досліджень свідчить, що в межах одного типу найтісніша залежність оптичних показників, насамперед інтенсивності червоного (R) каналу, спостерігається від умісту загального органічного вуглецю, а також вуглецю ГР та ГК (табл. 1). Чорноземам притаманний нелінійний зв'язок між гумусованістю та яскравістю ґрунту, тому для лінійного кореляційно-регресійного аналізу абсолютні значення показників гумусованості були перераховані в логарифми, що суттєво вплинуло на результати розрахунків (табл. 1). В окремих випадках існує досить тісний зв'язок з умістом іншого компоненту, що суттєво впливає на забарвлення ґрунту – карбонату кальцію. Особливо чітко це проявляється у чорноземах, оскільки їм властиве поступове наростання карбонатності зі зменшенням ступеню гумусованості з глибиною, тому між умістом Сзаг та карбонатів існує достовірна кореляція ( $r=-0.64$ ;  $n=77$ ). В лісових ґрунтах теж існує зв'язок між інтенсивністю R та умістом карбонатів, але менш тісний, ніж у степових, оскільки кореляція між умістом гумусу та карбонатів дещо слабша ( $r=-0.51$ ;  $n=151$ ). Найменш тісний зв'язок виявлено між R та оптичною щільністю розчинів ГК, що пояснюється незначними коливаннями цього показника в межах кожного з вивчених типів ґрунту (табл. 2).

## 1. Кореляція між ґрунтовими показниками та інтенсивністю червоного каналу оптичної моделі RGB

Коефіцієнти парної кореляції *					Коефіцієнти множинної кореляції	Часткові коефіцієнти кореляції				
Сзаг	Сгр	Сгк	CaCO <sub>3</sub>	Ес <sup>мг/мл</sup>		Сзаг	Сгр	Сгк	CaCO <sub>3</sub>	Ес <sup>мг/мл</sup>
Коричневий ґрунт на вапняках, n=156										
-0.91	-0.89	-0.91	0.47	-0.28	0.94	-0.37	н.д.	-0.52	0.38	н.д.
Бурий лісовий опідзолений ґрунт на вапняках, n=26										
-0.78	-0.64	-0.57	-	н.д.	0.83	-0.83	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
Чорнозем, n=77										
-0.75	-0.79	-0.86	0.91	н.д.	0.94	н.д.	н.д.	-0.60	0.75	н.д.
-0.88**	-0.92**	-0.95**	-	-	0.98**	-	-	-0.85**	0.71	н.д.
Усі лісові ґрунти, n=182										
-0.90	-0.88	-0.89	0.55	-0.25	0.91	-0.43	н.д.	-0.44	0.39	н.д.
Усі ґрунти, n=259										
-0.59	-0.61	-0.71	0.49	-0.31	0.87	н.д.	н.д.	-0.81	0.45	-0.62

\* – достовірність усіх коефіцієнтів кореляції не нижче 5% рівня значимості;

\*\* – в розрахунках використано логарифми ґрунтових показників

Результати множинного регресійного аналізу показали, що в коричневих ґрунтах на інтенсивність R достовірно впливає уміст Сзаг і вуглецю основного забарвлюючого компоненту гумусу – ГК. Зв'язок з умістом карбонатів також є достовірним, а оптична щільність ГК через низьку її варіабельність не впливає на відбивну здатність лісових ґрунтів. Такі ж закономірності відзначаються й при спільній статистичній обробці даних для усіх лісових ґрунтів. В буроземах достовірно на інтенсивність R впливають лише показники гумусованості, оскільки вони не містять карбонатів, а оптична щільність, як і в зразках коричневих ґрунтів, коливається мало. В чорноземах інтенсивність забарвлення визначається також умістом найбільш оптично активних компонентів – ГК і карбонатів. Достовірний вплив Е-величин ГК на яскравість ґрунту проявляється лише при статистичній обробці загального масиву даних (табл. 1) через дуже значну різницю між лісовими та степовими ґрунтами за цим показником (табл. 2).

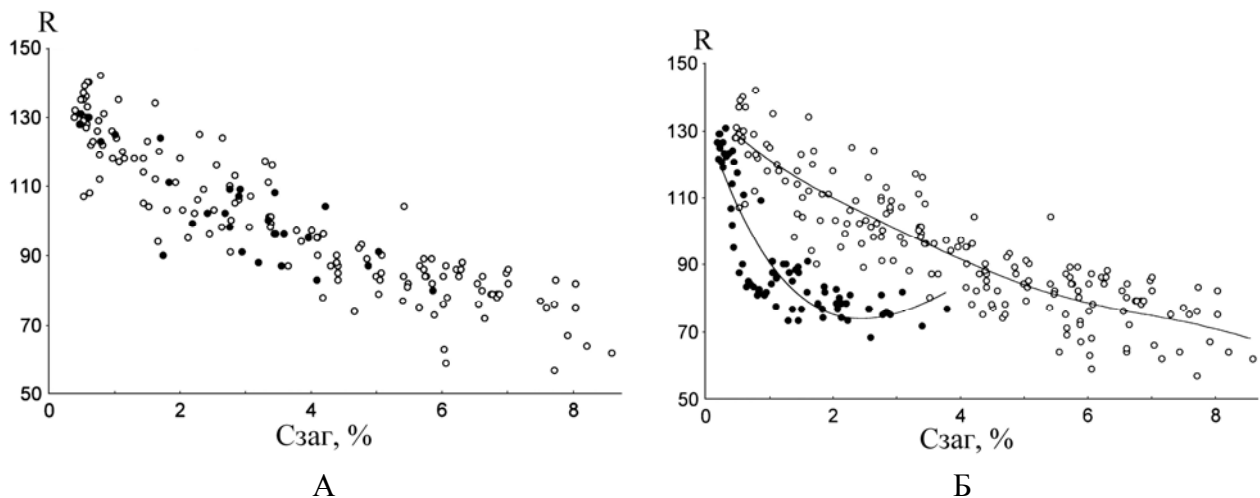
## 2. Середні значення окремих показників гумусного стану ґрунтів

Сзаг	Сгр	Сгк	Сгк: Сфк	Сгк від Сгр, %	Ес <sup>мг/мл</sup>			Е <sub>4</sub> :Е <sub>6</sub>
					ГР	ГК	ФК	
Коричневий ґрунт на вапняках								
4.72/44*	1.38/50	0.66/48	0.98/26	49/14	9.7/14	11.6/11	3.1/32	5.4/15
Бурий лісовий опідзолений ґрунт на вапняках								
3.28/32	1.02/24	0.50/32	0.97/21	49/11	7.2/10	7.4/8	2.3/14	6.5/10
Чорнозем звичайний та південний								
1.93/40	0.72/40	0.43/37	1.57/24	60/9	-	21.6/8	1.5/41	3.8/4

\*- чисельник – середнє значення показника, знаменник – коефіцієнт варіації, %

Вплив ґрунтових показників на відбивну здатність різних типів ґрунту можна також продемонструвати за допомогою графіків (рис. 1), на яких представлено залежність інтенсивності червоного каналу RGB від умісту Сзаг. Як видно з рис. 1А, межі розподілу точок

для лісових ґрунтів обох типів практично співпадають, тобто при однаковому умісті загального органічного вуглецю коричневі та бурі лісові ґрунти відзначаються близькими показниками яскравості. Але при цьому необхідно враховувати, що буроземі не містять у своєму складі карбонатів, які, на відміну від гумусових речовин, підвищують яскравість (збільшують R- величини) і тому зближують за цим показником карбонатні коричневі та бурі лісові ґрунти. Також існує можливість суттєвого впливу на оптичні показники й інших факторів, які не були враховані в дослідженнях – гранулометричного складу та умісту вільних форм заліза. Крім того, гумусові горизонти буроземів відрізняються меншим умістом органічної речовини порівняно з коричневими ґрунтами, що не дає можливості порівнювати відбивну здатність ґрунтів з однаково високим умістом гумусу, коли спостерігається максимальна різниця оптичних властивостей між різними типами ґрунтів.



**Рис.1. Залежність інтенсивності червоного каналу RGB від умісту загального органічного вуглецю:** А – у буроземі опідзоленому (чорні крапки) та коричневому лісовому ґрунті (білі крапки); Б – у чорноземі (чорні крапки) та лісових ґрунтах (білі крапки).

З отриманих даних видно, що найчіткіше за оптичними властивостями відрізняються лісові ґрунти гірського Криму та степові ґрунти півдня України через значну різницю між ними за показниками оптичної щільності ГК та більшою часткою ГК у складі гумусу чорноземів. Також, судячи зі значно меншого розкиду точок від лінії регресії (рис. 1Б), в степових ґрунтах вплив інших факторів значно менший у порівнянні з лісовим, що дало змогу продемонструвати графічно чітку різницю між вилугуваними відмінами чорноземів південних та темно-каштанових ґрунтів [5].

Особливістю лісових ґрунтів є поступове зменшення величини R зі збільшенням гумусованості в усьому можливому діапазоні умісту органічного вуглецю. В чорноземах, як видно з рис. 1Б, спостерігається різке зменшення яскравості в діапазоні до 1% Сорґ, потім поступове до приблизно 3% Сорґ. Подальше наростання гумусованості не зменшує яскравість, оскільки вже за цього рівня досягається повне покриття плівками ГР мінеральної частини ґрунту.

Таким чином, запропонований нами спосіб вивчення оптичних властивостей ґрунтів дозволяє виявляти різницю між їхніми типами у разі існування чіткої залежності показників яскравості від умісту органічної речовини. Більшою мірою це властиво степовим ґрунтам, у складі гумусу яких переважають оптично активні чорні ГК. В лісових ґрунтах, не дивлячись на досить тісний зв'язок показників яскравості з умістом органічної речовини, виявити графічно різницю між суміжними коричневими ґрунтами та буроземами не вдається через переважання у складі ГК оптично менш активних бурих ГК, що робить поміт-

нішим внесок у забарвлення ґрунту інших факторів. У зв'язку з цим для ідентифікації типової приналежності лісових ґрунтів ми пропонуємо також проводити порівняльний аналіз основних показників гумусного стану (табл.2).

Результати досліджень свідчать, що найнадійнішими діагностичними показниками серед вивчених можуть бути показники оптичної щільності гумусових речовин і насамперед – Е-величини ГК, оскільки саме вони відзначаються найменшою варіабельністю в межах типу і найбільшою – серед різних типів ґрунтів (табл. 2). Звичайно, використання оптичної щільності ГР безпосередньо у пірофосфатній витяжці з ґрунту спрощує та прискорює аналітичні роботи, оскільки відпадає необхідність осадження та повторного розчинення ГК, але менша різниця Е-величин ГР між коричневими та бурими лісовими ґрунтами на вапняках (в 1.35 рази) у порівнянні з Е-величинами ГК (в 1.57 рази) підтверджує обґрунтованість використання саме оптичної щільності ГК (табл. 2). Це є зручним також з огляду на можливість порівняння власних результатів з опублікованими раніше, оскільки в більшості робіт наводяться саме Е-величини ГК [12]. Варто відзначити, що отримані нами значення оптичної щільності ГК практично співпадають з отриманими для буроземів Карпат, коричневих ґрунтів східної Грузії та різних підтипів чорноземів [10, 12].

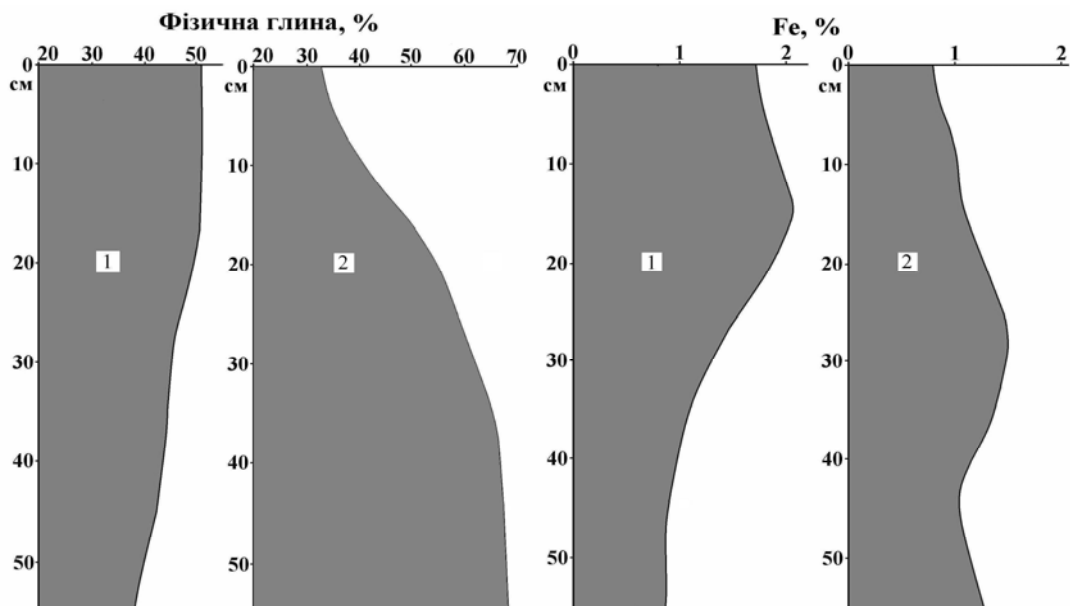
З даних табл. 2 видно, що окрім Е-величин розчинів ГК, високою стабільністю в межах типу відрізняється коефіцієнт кольоровості  $E_4:E_6$ . Крім того, його розрахунок не потребує кількісного визначення концентрації вуглецю у розчині ГК, а отже не залежить від точності виконання аналітичних робіт. Але суттєва різниця за коефіцієнтом кольоровості спостерігається при порівнянні степових ґрунтів з гірсько-лісовими, тоді як між коричневими і бурими ґрунтами різниця за цим показником значно менша, ніж за Е-величинами ГК та ГР (табл. 2).

Один з найбільш уживаних показників гумусного стану – відношення  $S_{гк}:S_{фк}$ , характеризується досить високою варіабельністю в межах типу, але це пов'язано з методикою його розрахунку. Якщо замість відношення  $S_{гк}:S_{фк}$  взяти відсоток  $S_{гк}$  від  $S_{гр}$ , то коефіцієнт варіації зменшиться приблизно вдвічі (табл. 2). Проте середні значення відношення  $S_{гк}:S_{фк}$  та відсотка  $S_{гк}$  від  $S_{гр}$  для коричневих ґрунтів та буроземів повністю співпадають, не даючи змоги надійно розрізнити різні типи лісових ґрунтів за цим показником. Те, що ці лісові ґрунти дійсно належать до різних типів, хоча й сформувалися на вапняках в межах однакових висот південного макросхилу, свідчать й інші показники, окрім оптичної щільності ГК. Бурозем відрізняється від коричневого ґрунту кислотою реакцією ґрунтового розчину в межах гумусового горизонту, значно меншими його грубизною та вмістом органічного вуглецю, іншим характером профільного розподілу глинистих часток та вільних форм заліза (рис. 2), що пов'язано з різницею в річній кількості опадів в межах розповсюдження буроземів і коричневих лісових ґрунтів [11].

Через більшу зволоженість територій в межах розповсюдження буроземів, в них після вилугування карбонатів відбувається поступове заміщення поглинутих основ алюмінієм, підкислення ґрунту до рН сольового 3.5-6.5 та формування типового для кислих лісових ґрунтів бурих ГК з низькою оптичною щільністю [8, 12]. В результаті профільного перерозподілу глинистих часток гумусовий горизонт бурозему опідзоленого відрізняється від коричневого лісового ґрунту значно полегшеним гранулометричним складом.

Вилугуваний коричневий ґрунт також відрізняється від карбонатного збагаченою глинистими частками середньою частиною профілю, але це відбувається за рахунок внутрішньо-профільного вивітрювання мінералів, тому гумусовий горизонт вилугуваного коричневого ґрунту має значно важчий гранулометричний склад порівняно з буроземом опідзоленим. Коричневий ґрунт через меншу зволоженість та значну участь трав'янистих видів у складі рослинності лишається повністю насиченим основами та нейтральним й після повного вилугування карбонатів, що сприяє формуванню більш темнозабарвлених ГК у порівнянні з буроземом. Характер профільного розподілу вільних форм заліза в обох

типах ґрунту закономірно близький до розподілу глинистих часток, тому гумусовий горизонт бурозему містить значно менше заліза у порівнянні з коричневим ґрунтом.



**Рис. 2. Профільний розподіл фізичної глини і вільних форм заліза у коричневому карбонатному (1) та бурому опідзоленому ґрунті (2)**

Отримані результати спростовують поширену думку про існування чіткого переходу від коричневих ґрунтів сухих лісів і чагарників південного макросхилу Кримських гір до бурих гірсько-лісових на висотах від 300 до 600 м над рівнем моря. Дослідження показали, що в східній частині Ялтинського амфітеатру на висотах від 10 до 1000 м в межах схилів південної експозиції ґрунти, сформовані на вапняках, не мають типових ознак буроземів, оскільки навіть за умов вилугуваності є насиченими та нейтральними. Крім того, зі збільшенням висоти спостерігається тенденція не до зменшення, що притаманне буроземам, а до зростання оптичної щільності ГК від  $11.2 \pm 1.1$  (10-600 м) до  $12.8 \pm 1.4$  (600-1000 м). В той же час, в західній частині Ялтинського амфітеатру в умовах більшої зволоженості коричневі ґрунти на вапняках змінюються буроземами, починаючи з 300 м над рівнем моря. Це означає, що буроземи в межах південного макросхилу не залягають суцільною смугою між коричневими та гірсько-лучними ґрунтами, а займають лише окремі, найбільш зволожені ділянки пологих схилів, ущелин, уступів терас на вказаних висотах.

### **Висновки.**

Отримані дані свідчать про можливість аналізу оптичних показників ґрунту з використанням офісного сканера для діагностики типової приналежності за умови існування чіткого зв'язку між яскравістю та вмістом основного забарвлюючого компоненту – органічної речовини, що в більшій мірі властиво степовим ґрунтам України. Для аналізу оптичних характеристик лісових ґрунтів важливо враховувати також уміст інших компонентів, які прямо чи опосередковано впливають на формування забарвлення – карбонатів, фізичної глини, вільних форм заліза. Досить надійним способом ідентифікації типової приналежності є аналіз оптичної щільності ГК, використання якої дозволяє чітко діагностувати лісові ґрунти гірського Криму.

## Література:

1. **Ачасов А.Б., Терновий Р.В.** Використання цифрових фотокамер для визначення вмісту гумусу в ґрунті // Вісник ХНАУ. Сер. “Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство”. – 2006. – № 6. – С. 94-96.
2. **Булигін С.Ю., Опришко О.О., Гайбура Н.А., Бідолах Д.І.** Визначення умісту гумусу в ґрунті неконтактними методами // Вісник аграрної науки. – 2005. – № 4. – С. 34-37.
3. **Зонн С.В.** Железо в почвах (генетические и географические аспекты). – М.: Наука, 1982. – 207 с.
4. **Кононова М.М., Бельчикова Н.П.** Ускоренные методы определения состава гумуса минеральных почв // Почвоведение. – 1961. – № 10. – С. 75-87.
5. **Костенко І.В.** Аналіз кольору ґрунту за допомогою офісного сканеру // Вісник аграрної науки. – 2007. – №5. С. – 24-27.
6. **Костенко І.В.** До питання оцінки придатності піщаних ґрунтів Нижньодніпров’я для вирощування плодкових культур // Вісник аграрної науки. – 2007. – №10. – С. 16-18.
7. **Орлов Д.С.** Химия почв. – М.: Изд-во МГУ, 1985. – 376 с.
8. **Орлов Д.С.** Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 325 с.
9. **Орлов Д.С., Гришина Л.А.** Практикум по химии гумуса. – М.: Изд-во МГУ, 1981. – 271 с.
10. **Плотникова Т.А., Пономарева В.В.** Упрощенный вариант метода определения оптической плотности гумусовых веществ с одним светофильтром // Почвоведение. – 1967. №7. – С.73-85.
11. **Полупан М.І., Соловей В.Б., Кисіль В.І., Величко В.А.** Визначник еколого-генетичного статусу та родючості ґрунтів України: Навчальний посібник. – К.: Колообіг, 2005. – 304 с.
12. **Пономарева В.В., Плотникова Т.А.** Гумус и почвообразование (методы и результаты изучения). – Л.: Наука, 1980. – 219 с.
13. **Пузаченко Ю.Г., Пузаченко М.Ю., Козлов Д.Н., Алещенко Г.М.** Анализ строения почвенного профиля на основе цифровой цветной фотографии // Почвоведение. – 2004. – № 2. – С. 133-146.
14. **Савин И.Ю., Столбовой В.С.** Спектральная отражательная способность красноцветных почв Сирии // Почвоведение. – 1998. – №4. – С. 427-434.
15. **Konen M. E., Burras C. L., Sandor J. A.** Organic carbon, texture, and quantitative color measurement relationships for cultivated soils in North Central Iowa // Soil Sci. Soc. Am. J. – 2003. – V.67. – P. 1823–1830.
16. **Persson M.** Estimating surface soil moisture from soil color using image analysis // Vadose Zone J. – 2005. – V. 4. – P. 1119-1122.
17. **Rieke-Zapp D.H.** Digital close range photogrammetry for measurement of soil erosion // The Photogrammetric Record. – 2005. – V.20 (109). – P 69–87.
18. **Viscarra Rossel R.A., Walter C.** Towards quantitative assessment of field soil organic carbon using proximally sensed digital imagery // 17th World Congress of Soil Science, 2002, Queen Sirikit National Convention Centre 14-21 August 2002, Bangkok, Thailand. – Symposium No. 48, paper No. 1523.

## DIAGNOSTICS OF TYPICAL BELONGING OF SOILS USING THE INDEXES OF OPTICAL PROPERTIES

I.V. Kostenko

*Nikitsky Botanical Gardens – National Scientific Center, igorkostenko@ukr.net*

The results on optical indexes of soil samples studying using a desktop flatbed scanner as well as optical properties of dissolved humus substances by spectrophotometer are presented. These data

testify to efficiency of the offered methods to recognize the typical belonging of soils, especially in the conditions of the pied soil cover of mountain Crimea.

**Key words:** optical properties of soils, desktop flatbed scanner, computer analysis, optical density of humus matters.