

---

# THEORETICAL AND PRACTICAL ISSUES OF SOIL SCIENCE

---

---



V. A. Nikorych ✉ Cand. Sci. (Biol.), Assoc. Prof.  
I. V. Chervonogrodska

UDK 631.4

---

*Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University,  
Kotsubinsky Str., 2, Chernivtsi, Ukraine, 58012*

---

## COLOURISTIC CRITERIA OF S-MATRIX OF THE PRECARPATHIANS BROWNISH-PODZOLIC GLEYED SOILS

**Abstract.** The scientific literature dedicated to the analysis of peculiarities of the soils colouring and interconnection the genetic horizons colour as well as separate morphological elements with their properties have been analyzed. The identification of colour of genetic horizons in 20 profiles of brownish-podzolic gleyed soils of Ukrainian and Polish Precarpathians has been conducted. The colour of investigated genetic horizons and separate morphological elements was determined according to both national and international systems. The analysis of the appropriateness of national approaches rejecting and usage of the Munsell scale as a primary method for determining the soil samples colour has been carried out. The results of the survey of the respondents with different professional training ascertained that visual determination of colour range within morphological description of the soil is completely subjective. The correctness of procedure depends on the experience of soil scientists and colour homogeneity of the soil sample. Using of the Munsell scale reduces the errors in the determination by 70–80 %, which allows recommending the very approach as the principal one for the field descriptions.

Change of the investigated soils colour depending on the level of humidity has been established. The peculiarity of soil mass colour range depending on the aggregation and fractions size has been found out.

Based on the colouristic analysis it has been confirmed that chemical and mineralogical composition is the main factor of heterogeneity of the investigated soils horizons colour. It has been found out that heterogeneity of the colour range, and the appearing of bleached zones (as the result of iron removing) and fine dust on the surface of the aggregations is associated with gleying processes, impulse redox regime and metamorfization of soil mass.

It has been established that interdependence between the complex of statistical and fractal parameters, which indicates the relative optical heterogeneity of architectonics of the investigated soils ultra thin cuts which are characterized by optical heterogeneity on the macro-level. The processes of morphogenesis of self-similar elements of their architectonics cause the asymmetry and fluctuations of relative data and increasing of the half-width of the autocorrelation functions of orientation tomograms.

---

✉ Tel.: +38037-258-47-40, e-mail: v.nikorych@chnu.edu.ua

DOI: 10.15421/041605

ISSN 1684-9094. Gruntoznavstvo. 2016. Vol. 17, no. 1-2

49

Red and green shades are shown to be the basic components of the sample colour. Red ones are determined by red colour pigments, and the combination of red and green shades provides the formation of yellow tones.

The possibility of data conversion from the Munsell system into the CIE-L\*a\*b\* system with minor deviations has been shown. 2,5Y5 / 4 in Munsell system corresponds to the following data in the CIE-L\*a\*b\* system: L\* = 41,23; a\* = 5,59; b\* = 20,06 (manual calculation) and L\* = 41,22, a\* = 4,97, b\* = 19,44 (automatic transfer using the computer program Munsell Conversion 4.01).

**Key words:** colouristic criteria, brownish-podzolic soils, Munsell scale, CIE-L\*a\*b\*.

УДК 631.4

**В. А. Никорич**

канд. биол. наук, доц.

**И. В. Червоногородская**

*Черновицкий национальный университет им. Ю. Федьковича,*

*ул. Коцюбинского, 2, г. Черновцы, Украина, 58012,*

*тел.: +38037-258-47-40, e-mail: v.nikorych@chnu.edu.ua*

### **КОЛОРИСТИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ S-МАТРИЦЫ БУРОВАТО-ПОДЗОЛИСТЫХ ОГЛЕЕННЫХ ПОЧВ ПРЕДКАРПАТЯ**

**Аннотация.** Проведено определение окраски генетических горизонтов в 20 профилях буровато-подзолистых оглеенных почв Предкарпаття Украины и Польши. Цвет исследуемых генетических горизонтов и отдельных морфологических элементов определялся с применением национальной и международной системы. Проведен анализ целесообразности отказа от национальных подходов и использования шкалы Манселла в качестве основного метода определения окраски почвенных образцов в полевых условиях.

Установлено изменение окраски исследуемых почв в зависимости от уровня увлажненности, агрегированности и размера фракций. На основе колористического анализа подтверждено, что главным фактором анизотропности (неоднородности) окраски горизонтов исследуемых почв является химический и минералогический состав. Установлены причины неоднородности цветовой гаммы и взаимосвязь между комплексом статистических и фрактальных параметров.

Показано, что базовыми составляющими окраски образца выступают красные и зеленые оттенки. Красные оттенки детерминированы красноцветными пигментами, а комбинация красных и зеленых оттенков отвечает за формирование желтых тонов.

Продемонстрирована возможность конверсии данных из системы Манселла в систему CIE-L\*a\*b\* с незначительными отклонениями – 2,5Y5 / 4 в системе Манселла соответствуют в системе CIE-L\*a\*b\* значениям L\* = 41,23; a\* = 5,59; b\* = 20,06 (расчет в ручном режиме) и L\* = 41,22, a\* = 4,97, b\* = 19,44 (автоматический трансфер с помощью компьютерной программы Munsell Conversion 4.01).

**Ключевые слова:** колористические критерии, буровато-подзолистые почвы, шкала Манселла, CIE-L\*a\*b\*.

УДК 631.4

**В. А. Нікорич**

канд. біол. наук, доц.

**І. В. Червоногородська**

*Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича,*

*вул. Коцюбинського, 2, м. Чернівці, Україна, 58012,*

*тел.: +38037-258-47-40, e-mail: v.nikorych@chnu.edu.ua*

### **КОЛОРИСТИЧНІ КРИТЕРІЇ S-МАТРИЦІ БУРОВАТО-ПІДЗОЛИСТИХ ОГЛЕСНИХ ҐРУНТІВ ПЕРЕДКАРПАТТЯ**

**Анотація.** Проведено визначення забарвлення генетичних горизонтів в 20 профілях буровато-підзолистих оглеєних ґрунтів Передкарпаття України та Польщі. Колір досліджуваних генетичних горизонтів та окремих морфологічних елементів визначався із застосуванням національної та міжнародної системи. Проведено аналіз доцільності відмови від національних підходів та використання шкали Манселла, як основного методу визначення забарвлення ґрунтових зразків.

Встановлено зміну забарвлення досліджуваних ґрунтів залежно від рівня зволоженості, агрегованості та розміру фракцій. На основі колористичного аналізу підтверджено, що головним чинником анізотропності (неоднорідності) забарвлення ґрунтових горизонтів досліджуваних ґрунтів є хімічний та мінералогічний склад. Встановлені причини неоднорідності кольорової гама та взаємозв'язок між комплексом статистичних і фрактальних параметрів.

Показано, що базовими складовими забарвлення зразка є червоні та зелені відтінки. Червоні відтінки детерміновані червоноколірними пігментами, а комбінація червоних та зелених відтінків відповідальна за формування жовтих тонів.

Продемонстрована можливість конверсії даних з системи Манселла у систему CIE-L\*a\*b\* з незначними відхиленнями – 2,5Y5/4 в системі Манселла відповідають в системі CIE-L\*a\*b\* значенням L\*=41,23; a\* =5,59; b\* =20,06 (розрахунок в ручному режимі) та L\* = 41,22, a\* =4,97, b\* = 19,44 (автоматичний трансфер за допомогою комп'ютерної програми Munsell Conversion 4.01).

**Ключові слова:** колористичні критерії, бурувато-підзолисті ґрунти, шкала Манселла, CIE-L\*a\*b\*.

## ВСТУП

Однією з найінформативніших морфологічних ознак ґрунту є забарвлення його твердої фази. Це найбільш доступна і, перш за все, помітна морфологічна ознака, суттєвий показник належності ґрунту до того чи іншого типу, що визначається кольором тих речовин, з яких він складається, а також гранулометричним складом, фізичним станом і ступенем зволоження. Колір дає первинну інформацію щодо хімічного складу та стану ґрунту. Він широко використовується як параметр ґрунтогенезу і доступний до визначення з мінімальним лабораторним обладнанням. Опис кольору входить до числа обов'язкових процедур діагностики ґрунтів у світовій та всіх національних класифікаціях (Nazarenko et al., 2006; Rossel et al., 2006).

У вітчизняній класифікації з часів В. В. Докучаєва прийнятий вербальний опис забарвлення. Для цієї процедури широкий загал українських ґрунтознавців до цих пір використовує трикутник Захарова. У вершинах трикутника лежать чорний, білий та червоний колір, згідно якого колористична гама S-матриці отримується шляхом змішування забарвлень у напрямку від однієї до іншої вершини. Віддамо шану цій системі, оскільки саме завдяки їй багато ґрунтів одержали типову назву відповідно до свого кольору (підзол, чорнозем, бурозем, сірозем, каштановий тощо), а відповідні слов'янські назви увійшли у термінологічний апарат світового ґрунтознавства. Поряд з цим варто відмітити, що процедура діагностики хоч доступна і зручна, але абсолютно суб'єктивна, важко відтворюється і майже не піддається математизації, до того ж не позбавлена грубої помилки, адже чорний і білий – це не колір (Nazarenko et al., 2003, 2006).

У більшості закордонних класифікацій, в тому числі і в міжнародній, колір ґрунтів описується в системі Манселла як показник станів з трьох вимірюваних величин: тон, інтенсивність та відтінок (hue, value, chroma) (IUSS, WRB, 2014). Тон – переважаючий колір спектру, який визначається довжиною хвилі. Інтенсивність – міра світлого або темного забарвлення, пов'язана із загальною кількістю відбитого світла. Відтінок характеризує чистоту або вираженість кольорів спектру. На основі цих трьох критеріїв розроблений стандарт колірних таблиць (шкала Манселла). Для кожного тону відводиться окрема сторінка атласу. По вертикалі розташовані одиниці інтенсивності, а по горизонталі – одиниці відтінку. На зворотному боці палетки даються назви кольорів та їх символи, що реально зменшує суб'єктивізм при діагностиці (Kirillova et al., 2015).

S-матриця ґрунту рідко буває однорідною, що змушує використовувати кілька кольорів, один з яких визначається як основний. Фіксується плямистість забарвлення, яку характеризують трьома показниками: контрастністю (слабка, виразна, помітна), кількістю плям (мала – <2 % площі; звичайна – 2–20 %; висока – 20 %) і розмірами плям (дрібні – з довжиною по довшій вісі не < 5 мм; середні – 5–15; великі – 15 мм) (Rossel et al., 2006).

Для потреб ґрунтознавства взято п'ять основних тонів: червоний (R), жовтий (Y), зелений (G), синій (B) і фіолетовий (P). В якості додаткових тонів також використовують п'ять тонів: жовто-червоний (YR), зелено-жовтий (GY), синьо-зелений (BG), фіолетово-синій (PB) і червоно-фіолетовий (RP). Кожен основний і додатковий тон мають по 10 градацій. Тони утворюють коло, що ділиться на 100°, при цьому кожен градус має свій індекс, наприклад, 10 YR або 5 Y. Ступінь освітлення варіює від світлого (8) до темного (2). Крайні показники: 10 – відбитий спектр, 1 – поглинутий спектр). Відтінок або чистота тону також варіює від 1 до 8. Користуючись шкалою Манселла, можна дуже точно визначити забарвлення ґрунту та отримати математичний вигляд запису. У символах це виглядає наступним чином: 10 YR 6/3, що розшифровується як 10 YR (10 – жовто-червоний) тон інтенсивністю 6 з відтінком 3. Назва кольору – палево-бурий (Vodyanitskii, 2006; Rossel et al., 2006). Зручність використання очевидна, а завдання ґрунтознавця зводиться до пошуку в альбомі того чіпа, колір якого найбільш повно відповідає забарвленню ґрунтового зразка (Kirillova et al., 2015).

Чому так важливо використовувати систему, яка піддається математизації? Справа не тільки в зменшенні суб'єктивності. Використання кольороподілу за Манселлом дозволяє застосовувати для ідентифікації забарвлення спектрофотометри, і не тільки стаціонарні. Варто відмітити, що подібні можливості вже реалізовані в прикладних програмах для мобільних пристроїв, зокрема для телефонів, а перспективи – очевидні. Проте цей підхід потребує конверсії. Зокрема, в системі Манселла основна характеристика (колірний тон) виражена в полярних координатах, а тому для статистичних розрахунків потрібне їх перетворення. Вдала конверсія була запропонована Blavet et al., 2000, які літеро-числову характеристику кольорного тону переводили в кутовий показник тону. Це виявилось ефективним прийомом при проведенні статистичного аналізу, а також дозволило враховувати колористичну неоднорідність горизонту.

Kirillova et al. (2015) ще більш точною і зручною системою визначення забарвлення вважають систему CIE-L\*a\*b\*. На думку авторів, вона однозначно визначає колір і є універсальним рівноконтрастним кольорним простором, в межах якого колористична анізотропність ґрунтів виявляється краще, ніж за Манселлом. Дана оптична система в декартових координатах кількісно відображає внесок чотирьох основних кольорів. Вісь абсцис характеризує ступінь червоності (+ a \*) і зеленості ґрунту (-a \*) від +100 до -100, вісь ординат – ступінь жовтизни (+ b \*) і синяви (-b\*) від +100 до -100, точка на початку координат – сірий колір. Третя вісь, перпендикулярна площині a \* – b \*, визначає світлість ґрунту L \* від 0 до 100. Це апаратно-незалежна система, яка задає кольори без врахування особливостей їх відтворення (Wagm, Torrent, 2002).

Очевидно, що на сучасному етапі розвитку ґрунтознавчої науки не достатньо теоретичних та практичних розробок для однозначного вирішення питання. Потрібні більш глибокі дослідження взаємозв'язку колористичних характеристик S-матриці ґрунту. Варто остаточно визначитись з найбільш адекватними системами ідентифікації забарвлення як при польових дослідженнях, так і в лабораторних умовах. Доцільно переглянути традиційні підходи на користь використання шкал, які дадуть змогу відійти від суб'єктивності та створить передумови для автоматизації діагностики колористичних характеристик ґрунту.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єктом даної роботи були колористичні критерії S-матриці бурувато-підзолистих оглеєних ґрунтів Передкарпатті України та Польщі. Ареал розповсюдження із зазначенням місця розташування розрізів, а також умови ґрунтоутворення наведені в нашій попередній публікації (Nikorych et al., 2013).

Для з'ясування рівня суб'єктивності при визначенні забарвлення було проведено опитування 50 чоловік, з різною фаховою підготовкою. Респонденти визначали колір ґрунтових зразків візуально та за шкалою Манселла. Опитування проводилось на двох кардинально різних за забарвленням зразках ґрунту: He (розріз Laz-1/PL-MP-BO) – зразок характеризувався відносною монотонністю кольорової гама; ImpGI (розріз Isp-6/UA-CE-VY) – колористичні характеристики важко однозначно визначити через його неоднорідність забарвлення.

Такий підхід дозволив змодельовати просту і складну задачу для з'ясування можливих труднощів при виконанні полікомпонентних опитувань.

Нами було проведено колористичний аналіз всіх досліджуваних ґрунтів на макро- та мікроморфологічному рівнях. Колористичний макроморфологічний аналіз включав: визначення забарвлення ґрунтів при природній вологості в польових умовах; у повітряно-сухому стані; у зволоженому до найменшої польової вологоємності (НПВ); та за фракціями (<0,25, 0,25–0,5, 0,5–1, 1–2 мм). Визначення кольорової гама S-матриці проводилось згідно традиційних підходів (трикутник Захарова) та з використанням шкал Манселла.

Для макроморфологічного аналізу забарвлення за фракціями (<0,25, 0,25–0,5, 0,5–1, 1–2 мм) нами було виготовлено мініпрофілі ґрунтових розрізів. Для цього ми розфракціювали ґрунтову масу на ситах за методом Саввінова-Ревута (Vadiunina, Korchagina, 1986). Ґрунтова маса за фракціями переносилась на аркуш картону, вкритий клейкою речовиною. Створені мініпрофілі фотографувались в уніфікованих за освітленням стаціонарних умовах камерою iSight (розподільна здатність 8 мегапікселів). Світлинні оброблялись та аналізувались за допомогою комп'ютерної програми MultiScan Base.

Для фіксації забарвлення ґрунту при оптимальному зволоженні використана техніка визначення НПВ на гіпсових пластинах за Ніколаєвим (Vadiunina, Korchagina, 1986). Перезволожений ґрунтовий зразок переносився на гіпсову пластину і в момент досягнення рівня НПВ (матова поверхня) фотографувався аналогічною камерою із дотриманням єдності в кондиціях освітлення.

PSD аналіз проводився шляхом лазерного сканування мікроморфологічних шліфів в кілька етапів: за основними кольоровими відтінками; з переведенням в градації сірого; зі скануванням зразків в цих же градаціях, з наступним розділом кожного відтінку на градації сірого та побудовою статистичних гістограм; побудовою автокореляційної кривої (для виявлення самоподібності кольорової гамми шліфів); розкладанням спектру в градаціях сірого за трьома відтінками у системі RGB (на основі чого будувались гістограми за частотою трапляння).

Лазерні скани оброблялись за допомогою прикладного пакету MatLab, в якому використовуються сучасні обчислювальні інструменти і засоби прикладного програмування, що прекрасно справляються з обробкою сигналів і зображень (MacDonald, Telehyna, 2002).

Конверсія забарвлення з системи Манселла в систему CIE-L\*a\*b\* проводилась на модельному зразку з горизонту He(gl) (профіль Isp-6/UA-CE-VY), розрахунково за алгоритмом Кіріллової-Водяницького-Сілевої (Kirillova et al., 2015), а також автоматизовано з використанням комп'ютерної програми Munsell Conversion – 4.01. Конверсія здійснювалась в два етапи: трансфер кольору ґрунтового зразка з системи Манселла в колірні координати системи CIE-XYZ; трансфер колірних координат CIE-XYZ в значення CIE-L\*a\*b\*.

У Munsell Conversion – 4.01 були отримані значення XYZ для колірного тону Hue з кроком 0.5 одиниці від 0.5 до 10.0 для 10 літерних діапазонів (B, BG, G, GY, P, PB, R, RP, Y, YR). Крок Value (інтенсивність) також становив 0.5 одиниць в діапазоні від 0.5 до 9.5 (19 значень). Насиченість кольору Chroma – в діапазоні від 0 до 32. Програма здатна видати 121600 комбінацій H,V,C. Половина варіантів не мають значень XYZ, тому загальна кількість генерованих кольорів була меншою за 67574.

Всі вони зводились в довідкову таблицю, що повністю охоплювала кольори атласу Манселла для ґрунтів. Трансформація показників HVC в XYZ проводилась одночасно з перетворенням в координати в CIE-L\*a\*b\*.

Алгоритм розрахункової конверсії більш детально наведений в обговоренні результатів.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

### *Доцільність зміни національних підходів у визначенні забарвлення ґрунтів.*

У результаті статистичної обробки результатів опитування респондентів було підтверджено, що візуальне визначення кольорової гама твердої фази ґрунтів є суб'єктивним і тільки частково залежить від фахової підготовки учасників експерименту. Під час опитування за зразком № 1 (горизонт He, розріз Laz-1/PL-MP-BO) було отримано 10 варіантів забарвлення (табл. 1).

Таблиця 1

Результати візуального визначення забарвлення ґрунту групою людей із різною фаховою підготовкою

Зразок, горизонт, профіль	Варіанти визначення забарвлення	Варіанти в кількостях, чол.	Відсоток від опитаних, %	Фактичний колір (шифр та назва) за Манселлом
<b>Зразок № 1</b> He розріз Laz-1/ PL-MP-BO	Сірий (світліший чи темніший)	14	28	
	Сіруватий + світло-коричневий	6	12	
	Світло-коричневий	16	32	
	Кавовий	6	12	<b>2,5 Y 6/3</b>
	Кремовий	2	4	Тьмяно – жовтий
	Палево-коричневий	1	2	
	Сизуватий	1	2	Dull yellow
	Сірувато-жовтий	1	2	
	Світло-світло бурий	1	2	
	Коричневий	2	4	
<b>Зразок № 2</b> ImpG1 розріз Isp-6/ UA-CE-VY	Світло-коричневий	6	12	
	Піщаний + світло-жовтий	3	6	<b>10 YR 5/8</b>
	Жовтий	5	10	Жовтувато-бурий
	Рудий із відтінками	10	20	Yellowish brown (матричний)
	Жовтувато-бурий із світлим відтінком	6	12	
	Буруватий + світло-сірий	3	6	
	Паливо-бурий (неоднорідний)	3	6	
	Сірий із коричневим відтінком	5	10	<b>5Y7/2</b>
	Залістий із відтінками	3	6	Світло-сірий
	Іржавий із відтінками	4	8	Light gray (периферійний)
Сірий із гірчично-жовтим відтінком	2	4		

Найбільша кількість опитаних (32 %) визначили забарвлення зразка як світло-коричневе, а 28 % – як сірий із різними відтінками. Для 12 % респондентів колір ґрунтового зразка не відрізнявся від забарвлення побутових речей, оскільки вони його визначили як кавовий, що взагалі є надто далеким від реальних кольорових відтінків, які використовуються в ґрунтознавстві. При визначенні нами забарвлення зразка за Манселлом виявилось, що кольорова гама відноситься до 2,5 Y 6/3 (тьмяно-жовтий). Найближчим до коректного був варіант «сірувато-жовтий», що набрав лише 2 %.

Опитування за зразком № 2 ImpG1 (розріз Isp-6/UA-CE-VY) показало аналогічні результати – 11 вербальних варіантів забарвлення з ще більш нереальними кольорами. Очевидно, це зумовлено кольоровою анізотропністю зразка. Найбільша кількість

опитаних (20 %) визначили колір як рудий з відтінками. Дещо менше (12 %) отримали два варіанти – жовтувато-бурий та світло-коричневий. 10 % респондентів назвали забарвлення зразка жовтим та сірим із коричневим відтінком. При визначенні нами забарвлення зразка за Манселлом виявилось, що кольорова гама відноситься до 10 YR 5/8 (основний колір – жовтувато-бурий, периферійний – світло-сірий). Найближчим до коректного був варіант жовтувато-бурий із світлим відтінком, що набрав лише 12 %.

Другий етап опитування полягав у визначенні цією ж групою респондентів забарвлення вищезгаданих зразків з використанням шкали Манселла. В результаті було отримано вже тільки два варіанти, де коректний – 2,5 Y 6/3 (тьмяно – жовтий), набрав 88 % , а варіант 2,5 Y 6/2 (сіро-жовтий) – 12 % зі 100 %. При цьому слід зазначити відносну близькість двох кольорових відмін (табл. 2).

Таблиця 2

**Результати визначення забарвлення ґрунту групою людей із різною фаховою підготовкою за шкалою Манселла**

Зразок, горизонт, профіль	Варіанти визначення забарвлення за Манселлом	Варіанти в кількостях, чол.	Відсоток від опитаних, %	Колір	
				Шифр	Назва
<b>Зразок № 1</b> He, розріз Laz-1/ PL-MP-BO	2,5 Y 6/3	44	88	2,5 Y 6/3	Тьмяно – жовтий Dull yellow
	2,5 Y 6/2	6	12	2,5 Y 6/2	Сірувато-жовтий Grayish yellow
<b>Зразок № 2</b> ImpG1 розріз Isp-6/ UA-CE-VY	10YR 5/6, 5Y7/1	4	8	10 YR 5/6; 5Y7/1	Жовтувато-бурий / Yellowish brown Світло-сірий / Light gray
	10YR 6/8, 5Y8/1	3	6	10YR 6/8, 5Y8/1	Яскраво жовтувато- бурий / Bright yellowish brown Світло-сірий / Light gray
	10YR 7/6, 5Y7/1	2	4	10YR 7/6, 5Y7/1	Яскраво жовтувато- бурий / Bright yellowish brown Світло-сірий / Light gray
	10YR 6/6, 5Y7/1	5	10	10YR 6/6, 5Y7/1	Яскраво жовтувато- бурий / Bright yellowish brown Світло-сірий / Light gray
	10YR 6/6, 5Y7/2	32	64	10 YR 6/6; 5Y7/2	Яскраво жовтувато- бурий / Bright yellowish brown Світло-сірий / Light gray
	10YR 4/6, 2,5Y7/2	1	2	10YR 4/6, 2,5Y7/2	Brown – бурий; Сірувато-жовтий / Grayish yellow
	10YR 5/6, 5Y7/2	3	6	10YR 5/6, 5Y7/2	Жовтувато-бурий / Yellowish brown Світло-сірий / Light gray

Результати визначення респондентами кольору горизонту ImpGl (розріз Isp-6/UA-CE-VY) за допомогою атласу Манселла показали тільки 7 варіантів, при цьому більшість з них були близькими. Найбільший відсоток (64 %) набрав коректний варіант 10YR 6/6 – яскраво жовтувато-бурий (основний колір), 5Y7/2 та світло-сірий (периферійний колір). 10 % визначили основне забарвлення також як 10YR 6/6, але периферійне, вже як 5Y7/1 (майже аналогічний варіант). 8 % вибрали для зразка шифр 10 YR 5/6 (жовтувато-бурий) та 5Y7/1 (світло сірий).

Отже, опитування та статистична обробка результатів показали, що візуальне визначення кольорової гами при морфологічному описі ґрунту є суб'єктивним, а коректність залежить від досвідченості ґрунтознавця та моноколірності зразка. Використання шкали Манселла зменшує похибки на 70–88 %, що дозволяє рекомендувати саме цей спосіб при морфологічному описі в польових умовах.

**Діагностика забарвлення на макроморфологічному рівні.** Нами було проведено колористичний аналіз даних ґрунтів за природної вологості, у повітряно-сухому стані, у зволоженому до НПВ та за фракціями (<0,25, 0,25–0,5, 0,5–1, 1–2 мм) (табл. 3). Результати аналізу розрізу Isp-6/UA-CE-VY показали тенденцію збереження основного тону забарвлення (горизонт He(gl)) у повітряно-сухому стані та у фракції <0,25 (2,5Y6/3 – тьмяно-жовтий), а також ідентичність забарвлення у зразках за природної вологості та у фракціях 0,5–1 та 1–2 мм, що мають сірувато-жовте забарвлення (2,5Y6/3).

Таблиця 3

**Забарвлення за шкалою Манселла ґрунтів у різних кондиціях на прикладі розрізів Isp-6/UA-CE-VY та Laz-2/PL-MP-BO**

Горизонт	Шифр забарвлення						
	У непорушеному стані при природній вологості	У повітряно-сухому стані	При зволоженні до НВ	За фракціями у повітряно-сухому стані			
				<0,25	0,5–0,25	1–0,5	2–1
<b>Isp-6/UA-CE-VY</b>							
He(gl)	2,5 Y 5/4	2,5 Y6/3	2,5 Y4/3	2,5 Y6/3	2,5 Y6/2	2,5 Y6/2	2,5 Y6/2
Eh(gl)	2,5 Y 6/4	2,5 Y7/3	2,5 Y5/4	2,5 Y7/3	2,5 Y6/3	5 Y 7/2	5 Y7/2
IEGl	7,5 YR 4/6 2,5 Y 6/3	2,5 Y 7/2 10YR 5/6	10 YR 4/4	2,5 Y6/4	2,5 Y6/4	2,5 Y6/4	2,5 Y6/4
ImpGl	2,5 Y 6/2 7,5 YR 5/6	10YR 6/6 5 Y 7/2	2,5 Y5/4	2,5 Y6/4	2,5 Y6/4	2,5 Y7/3 2,5 Y6/4	2,5 Y7/3 2,5 Y6/4
<b>Laz-2/PL-MP-BO</b>							
He орн.	10YR 4/3	2,5 Y6/3	10YR 3/3	2,5 Y6/3	2,5 Y6/3	2,5 Y6/3	2,5 Y5/3
Eh(gl)	10YR 5/6 10YR 6/2 10YR 4/6	2,5 Y6/3 2,5 Y6/6	10YR 4/4	2,5 Y5/3	2,5 Y5/3	2,5 Y5/3	2,5 Y5/3
I <sup>feh</sup> mE	10YR 2/2 10YR 7/3	10YR 6/6	10YR 4/6	2,5 Y6/4	2,5 Y5/4	2,5 Y5/4	2,5 Y5/4
I <sup>fet</sup> me	10YR 4/6 10YR 3/4	10YR 6/4	10YR 4/4	2,5 Y6/4	2,5 Y5/4	2,5 Y5/4	2,5 Y5/4
I <sup>ht</sup> mP	10YR 5/4 10YR 7/3	10YR 7/6	10YR 5/6	2,5 Y6/4	2,5 Y6/4	2,5 Y6/4	2,5 Y6/4

Горизонт Eh(gl) характеризується наявністю вибіленості в зв'язку з елювіальними процесами ґрунтоутворення, про що свідчить домінування світло-жовтих та світло-сірих відтінків (2,5Y7/3, (2,5Y5/4), але присутність гумусових речовин у дрібних фракціях, зокрема у 0,5–1 та 1–2 мм надає їм більш інтенсивних сірих відтінків (2,5Y7/2 – світло-сірий).



У горизонті IEGl спостерігались труднощі у визначенні матричного та периферійного забарвлення. При висиханні активніше проявлялись ознаки, пов'язані з окисненням феруму, про що засвідчує наявність бурих (7,5Y4/6) кольорів у непорушених зразках при природній вологості. Фракції агрегатів мають тьмяно-жовте забарвлення (2,5Y6/4). Такі ж тенденції спостерігаються і в горизонті ImpGl. Отже, в ілювіальних горизонтах за бурі відтінки відповідає мікрочасти, вірогідно з вищим вмістом окиснених сполук феруму. Неоднорідність кольорової гами пов'язана з оглеєнням та глеє-елювіальним процесом, що веде до появи вибілених (знезалізненних) зон та появи тонкодисперсної пудри на поверхні агрегатів і внутрішньоагрегатних тріщин II і III порядку.

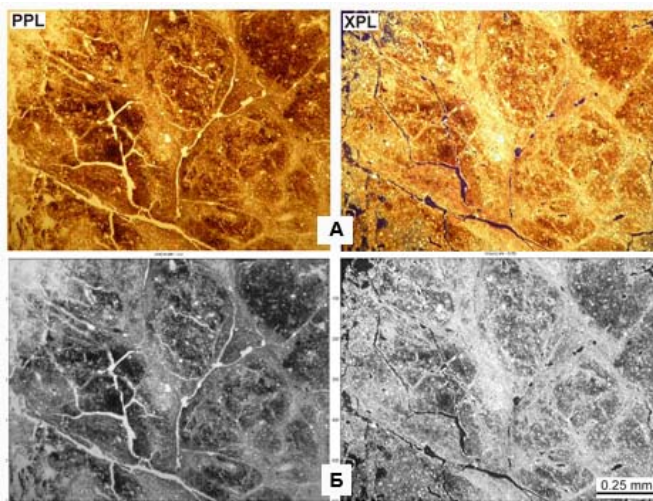
Результати аналізу розрізу Laz-2/PL-MP-BO у горизонті Неорн виявили ідентичність забарвлення ґрунту у сепарованому стані за всіма фракціями та у повітряно-сухому стані (2,5Y6/3). Горизонт Eh(gl) також характеризується наявністю вибіленості в зв'язку з елювіальними процесами ґрунтоутворення (домінування жовто-сірих відтінків). Протікання цих процесів є причиною кольорової неоднорідності зразків. Горизонт  $I^{eh}mE$  характеризується активнішим проявом ознак, пов'язаних із окисненим ферумом, про що засвідчує наявність бурих (10YR4/6) кольорів у непорушеному вигляді за природної вологості, та жовтуватих відтінків, спричинених процесами метаморфізації (10YR 6/6). Наявність елювіальних процесів спричиняє висвітлення при висиханні (2,5 Y5/4). У  $I^{et}me$  та у  $I^{ht}mP$  спостерігаються такі ж тенденції, як і в попередньому горизонті.

Отже, неоднорідність кольорової гами пов'язана з оглеєнням та імпульсним окисно-відновним режимом, що призводить до появи вибілених зон (знезалізненних зон) і появи тонкодисперсної пудри на поверхні агрегатів, і процесами метаморфізації, які проходять у ілювіальних горизонтах.

**Фотоколористичний аналіз мікрморфологічного зрізу.** Для визначення варіацій забарвлення на мікрорівні та їх внеску у загальну кольорову гаму зразка нами був проведений фотоколористичний аналіз всіх генетичних горизонтів досліджуваних ґрунтів. Наведемо результати лазерного сканування мікрморфологічних шліфів на прикладі горизонту He(gl) (розріз Isp-6/UA-CE-VY).

Основні відтінки зразка (рис. 1, А) ми перевели в градації сірого (рис. 1, Б), після чого скановані зразки в цих же градаціях розклали і отримали гістограму в градаціях сірого за кожним відтінком (рис. 2).

Сіра шкала – це контрольне зображення рівномірного ряду оптичної щільності нейтрально-сірих полів, виготовлених на прозорій або непрозорій основі. Така конверсія потрібна для оцінки та



**Рис. 1.** Забарвлення мікрморфологічного скана до (А) та після (Б) конверсії в градації сірого

вимірювань якості тонової передачі при зйомці та скануванні. Сіра шкала відображає інтенсивність світла в кожному пікселі видимої частини електромагнітного спектра та використовується при конвертації зображень в градаціях сірого в колірну модель.

Оскільки сіра шкала розташовується на діагоналі в кольорному кубі моделі RGB, то кожна складова отримує однакові значення, рівні значенням відтінків сірого.

Автокореляційна функція (АКФ) показала самоподібність кольорової гамми проаналізованих шліфів та тісну кореляцію функції оптичних сигналів між собою при зміщенні на певну величину незалежної змінної (рис. 2). Побудова АКФ необхідна для знаходження закономірностей в ряду даних, зокрема у періодичності та повторюваності кольорного сигналу. Якщо вихідна функція є чітко періодична, то на графіку АКФ також буде облігатно періодичною. Таким чином з отриманих кривих можна судити про періодичність базової функції, а отже і про її частотні характеристики досліджуваного об'єкту.

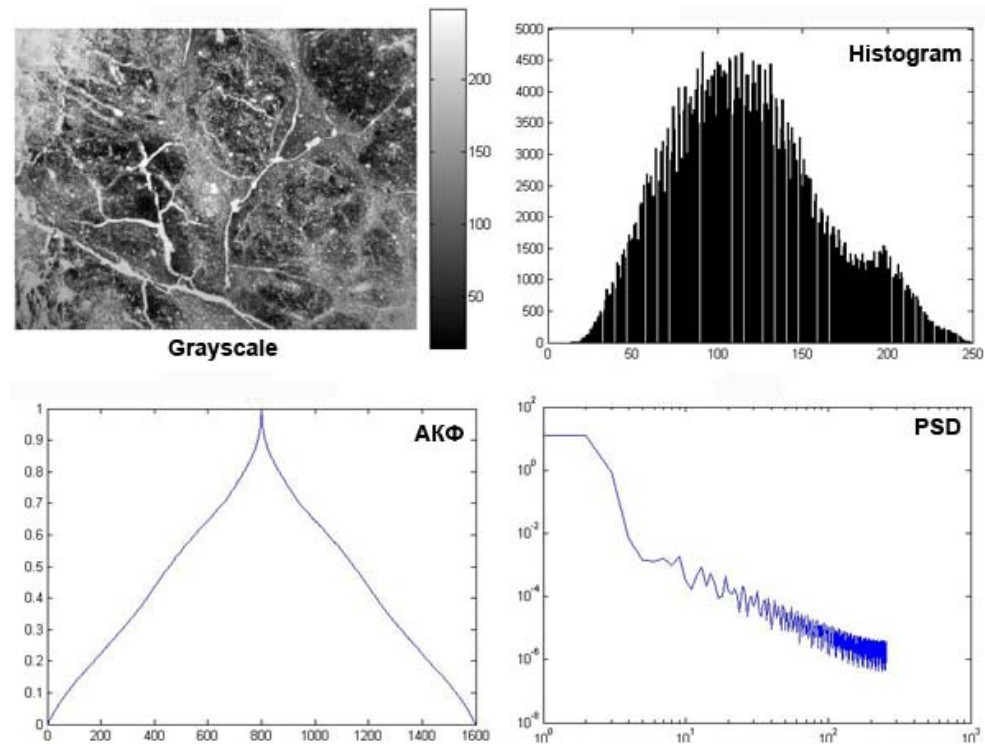


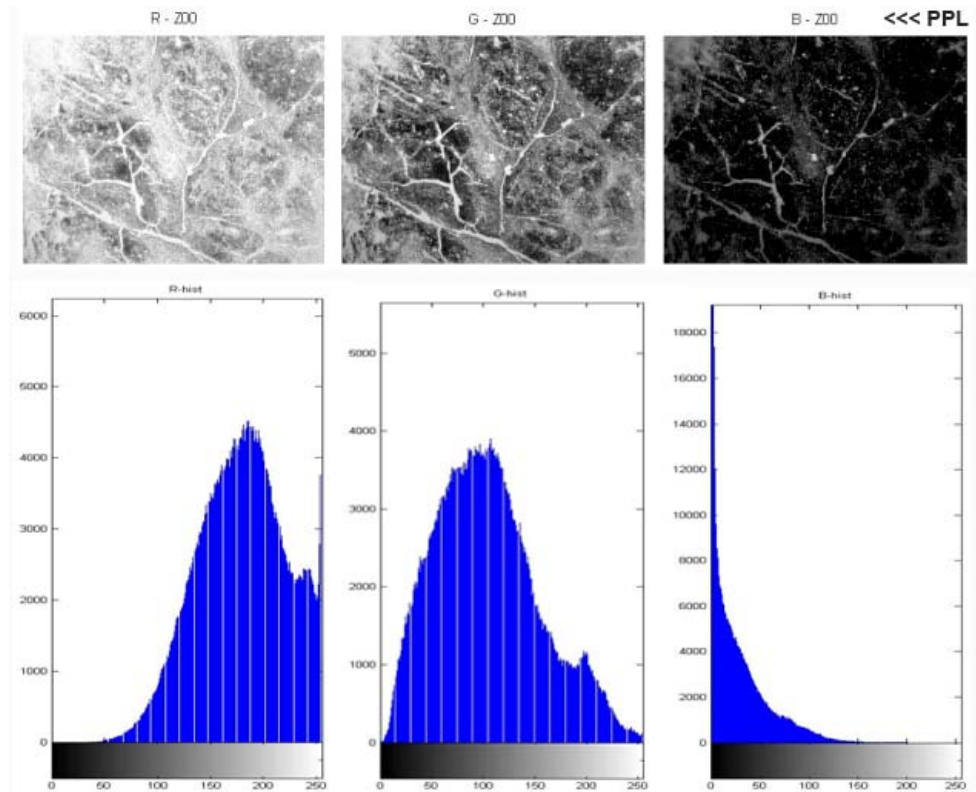
Рис. 2. Гістограми градації сірого та автокореляційні криві самоподібності

Використавши лазерну поляриметрію, нами був встановлений взаємозв'язок між комплексом статистичних і фрактальних параметрів, на основі яких ми отримали підстави для ствердження про відносну оптичну анізотропність архітекtonіки об'єкта. Останній на макрорівні також характеризувався оптичною неоднорідністю. Процеси формування самоподібних елементів їх архітекtonіки зумовлюють асиметрію та флуктуації відносних значень і збільшення напівширини автокореляційних функцій орієнтаційних томограм, а PSD-спектр описує як розподіляється енергія випадкового процесу в частотній області. Він показує наскільки вся кольорова гамма «зливається» в один колір.

Розклад зразка в градаціях сірого за трьома кольорами (система RGB) дозволив отримати гістограму за частотою барв, що зустрічалися. Це дозволило визначити внесок кожного з колористичних компонентів в спільну кольорову гаму (рис. 3).

Аналіз спектру показав, що базовими складовими забарвлення зразка є червоні та зелені відтінки. Червоні відтінки детерміновані червоноколірними пігментами, а комбінація червоних та зелених відтінків відповідальна за формування жовтих тонів.

Це підтверджує головний внесок окисних форм феруму у забарвлення генетичних горизонтів досліджуваних ґрунтів.



**Рис. 3.** Гістограми частоти трапляння кольорів в градаціях сірого за RGB та внесок кожного з компонентів в загальну кольорову гаму

Оптична система Манселла ефективна для польового визначення кольору ґрунту, але не дозволяє з високою точністю оцінити внесок пігментів у забарвлення. Вирішити цю проблему можна шляхом трансферу колірних характеристик (Vodyanitskii, Shishov, 2004). З цією метою доцільно використовувати іншу оптичну систему – CIE-L\*a\*b\*, що є універсальним колірним простором в декартових координатах. Для ґрунтознавців вона зручна тим, що величина показника L\* (світлоти) залежить від вмісту в ґрунті темного пігменту – гумусу; величина показника a\* (червоності) прямо пропорційна вмісту в ґрунті червоноколірного пігменту гематиту  $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; величина показника b\* (жовтизни) прямо пропорційна вмісту в ґрунті жовтоколірного пігменту гетиту  $\alpha\text{FeOOH}$  (Vodyanitskii, 2006). Цю систему широко застосовують для характеристики кольору при спектрометричному аналізі в лабораторних умовах (Karmanov, 1974; Vodyanitskii et al., 2003; Sánchez-Marañón et al., 1997; Vodyanitskii, 2006). Існує позитивний досвід використання системи CIE-L\*a\*b\* для оцінки впливу агрегації, розміру і складу гранулометричних фракцій на колір ґрунтів (Sánchez-Marañón et al., 2004).

Нами був здійснений трансфер колірних характеристик досліджуваних ґрунтів з системи Манселла в систему CIE-L\*a\*b\* з використанням різноманітних алгоритмів перетворення координат з одного простору в інший (Rossel et al., 2006; Beaudette et al., 2013; Kirillova et al., 2015). На наш погляд, найвдалішим для цих потреб є алгоритм Кіріллової-Водяницького-Сілевої (Kirillova et al., 2015), із застосуванням розрахункового переведення та автоматичного трансферу за допомогою програми Munsell Conversion Ver. 4.01. Цей алгоритм пройшов вдалу верифікацію на всіх наших об'єктах.

Продемонструємо результати трансферу на прикладі модельного зразка (профіль Isp-6/UA-CE-VY, горизонт He(gl)). Згідно алгоритму (Kirillova et al., 2015) на першому етапі проводився трансфер кольору зразка з системи Манселла в колірні координати системи CIE-XYZ. Далі, трансфер колірних координат CIE-XYZ в значення CIE-L\*a\*b\*.

Хроматична адаптація для переходу від джерела випромінювання до джерела D65 становила:

$$X = XC \times 0,9904448 - YC \times 0,007168 - ZC \times 0,011615 \quad (1)$$

$$Y = -XC \times 0,012371 + YC \times 1,015594 - ZC \times 0,002928 \quad (2)$$

$$Z = -XC \times 0,003564 - YC \times 0,00677 + ZC \times 0,918157 \quad (3)$$

Довідкові значення  $X_n$ ,  $Y_n$  і  $Z_n$  колірних координат CIE-XYZ еталонної білої точки для джерела випромінювання D65 складала:  $X_n = 0,950456$ ,  $Y_n = 1$ ,  $Z_n = 1,088754$ .

$$rY = Y/Y_n \quad (4)$$

$$rX = X/X_n \quad (5)$$

$$rZ = Z/Z_n \quad (6)$$

Якщо  $rX > 0,008856$ , то  $F_x = (rX)^{1/3}$ , (7); за інших умов  $F_x = 7,787 \times rX + 16/116$ .

Якщо  $rY > 0,008856$ , то  $F_y = (rY)^{1/3}$ , (8); за інших умов  $F_y = 7,787 \times rY + 16/116$ .

Якщо  $rZ > 0,008856$ , то  $F_z = (rZ)^{1/3}$ , (9); за інших умов  $F_z = 7,787 \times rZ + 16/116$ .

У результаті отримуємо наступні рівняння:

$$L^* = 116 \times F_y - 16 \quad (10)$$

$$a^* = 500 \times (F_x - F_y) \quad (11)$$

$$b^* = 200 \times (F_y - F_z) \quad (12)$$

Забарвлення модельного зразка за Манселлом – 2,5 Y 5/4. Згідно Munsell Conversion 4.01 знаходимо, що в CIE-XYZ даному кольору відповідають величини:  $X_1 = 12,50$ ;  $Y_1 = 12,0$ ;  $Z_1 = 7,34$ .

Отримані значення ділимо на 100, щоб привести до діапазону (0,0–1,0).

Отже  $X_C = 0,125$ ,  $Y_C = 0,12$ , а  $Z_C = 0,0734$ .

Проводимо хроматичну адаптацію за формулами 1–3:

$$X = 0,125 \times 0,9904448 - 0,12 \times 0,007168 - 0,0734 \times 0,011615 = 0,1220929$$

$$Y = -0,125 \times 0,012371 + 0,12 \times 1,015594 - 0,0734 \times 0,002928 = 0,12011$$

$$Z = -0,125 \times 0,003564 - 0,12 \times 0,00677 + 0,0734 \times 0,918157 = 0,0661348$$

У відповідності до формул 5–6 знаходимо значення колірних координат за відношенням до еталонної білої точки для джерела випромінювання:

$$rX = X/X_n = 0,1220929 / 0,950456 = 0,1284572$$

$$rY = Y/Y_n = 0,12011 / 1 = 0,12011$$

$$rZ = Z/Z_n = 0,0661348 / 1,088754 = 0,0607436$$

За рівняннями 7–9 обчислюємо значення  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ :

$$rX = 0,1284572 > 0,008856, \text{ тому } F_x = (rX)^{1/3} = (0,1284572)^{1/3} = 0,504567744$$

$$rY = 0,12011 > 0,008856, \text{ тому } F_y = (rY)^{1/3} = (0,12011)^{1/3} = 0,493393$$

$$rZ = 0,0607436 > 0,008856, \text{ тому } F_z = (rZ)^{1/3} = (0,0607436)^{1/3} = 0,393097404$$

За рівняннями 10–12 виводимо значення  $L^*$ ,  $a^*$  і  $b^*$ :

$$L^* = 116 \times F_y - 16 = 116 \times 0,493393 - 16 = 41,233588$$

$$a^* = 500 \times (F_x - F_y) = 500 \times (0,504567744 - 0,493393) = 5,58735$$

$$b^* = 200 \times (F_y - F_z) = 200 \times (0,493393 - 0,393097404) = 20,0591192$$

Таким чином, вихідні дані в системі Манселла 2,5 Y5/4 відповідають в системі CIE-L\*a\*b\* значенням  $L^* = 41,23$ ;  $a^* = 5,59$ ;  $b^* = 20,06$ . Автоматичний трансфер у Munsell Conversion 4.01 за цим шифром забарвлення дає наступні значення:  $L^* = 41,22$ ,  $a^* = 4,97$ ,  $b^* = 19,44$ . Алгоритм розрахунків легко піддається автоматизації, наприклад за допомогою MS Excel. При використанні автоматичного трансферу слід мати на увазі деяке відхилення порівняно з ручним розрахунком. У табл. 4 наведені колірні характеристики досліджуваних ґрунтів, які отримані при конверсії з системи Манселла в інші оптичні системи.

Таблиця 4

## Результати трансферу колірних характеристик ґрунту з системи Манселла в інші оптичні системи

Горизонт, глибина	Шифр за Манселлом	X	Y	Z	x	y	L*	a*	b*	R	G	B	C	M	Y	K
Hc(gl), 4-21	2,5 Y5/4	19,84	19,77	10,39	3968	3954	51,57	2,24	27,59	155	133	91	20	28	45	19
	2,5 Y6/3	29,84	30,05	17,82	5840	3667	61,70	1,39	27,53	180	158	114	20	28	45	9
	2,5 Y4/3	12,06	12,00	6,98	3886	3865	41,22	2,04	20,76	126	109	79	19	26	38	30
	2,5 Y6/2	29,54	30,05	25,30	3480	3540	61,70	2,6	14,34	171	159	137	20	24	33	12
Eh(gl), 21-40	2,5 Y6/4	29,84	30,05	17,82	3840	3867	61,70	1,39	27,53	180	158	114	20	28	45	9
	2,5 Y7/3	42,41	43,06	32,39	3599	3654	71,60	54	21,24	201	183	149	20	27	40	1
	2,5 Y5/4	19,84	19,77	10,39	3968	3954	51,57	2,24	27,59	155	133	91	20	28	45	19
	2,5 Y6/3	29,84	30,05	17,82	5840	3667	61,70	1,39	27,53	180	158	114	20	28	45	9
IEGI 40-73	5 Y 7/2	41,59	43,06	36,99	34,19	3540	71,60	-1,92	15,25	193	184	159	20	23	33	4
	7,5 YR 4/6	13,87	12,00	3,92	4655	4029	41,22	13,85	34,40	145	102	56	20	37	54	23
	2,5 Y6/3	29,84	30,05	17,82	5840	3667	61,70	1,39	27,53	180	158	114	20	28	45	9
	2,5 Y 7/2	42,19	43,06	37,54	3436	3507	71,06	-1,3	14,59	196	184	160	20	24	33	3
IpmGI >73	10YR 5/6	21,20	19,77	6,91	4428	4128	51,57	8,83	38,87	167	129	71	20	35	57	14
	10 YR 4/4	12,73	12,00	5,66	4189	3948	41,22	6,56	26,02	134	106	70	19	30	45	27
	2,5 Y6/4	29,84	30,05	17,82	3840	3867	61,70	1,39	27,53	180	158	114	20	28	45	9
	7,5 YR5/6	22,20	19,77	8,03	4440	3954	51,57	13,44	34,91	172	126	79	20	38	56	12
IpmGI >73	10YR6/6	31,62	30,05	12,90	4240	4030	61,70	7,93	38,39	193	154	96	20	35	58	4
	2,5 Y 6/2	29,54	30,05	25,30	3480	3540	61,70	2,6	14,34	171	159	137	20	24	33	12
	10YR 5/8	21,73	19,77	4,06	4770	4338	51,57	11,32	51,57	173	127	44	20	38	70	12
	5 Y 7/2	41,59	43,06	36,99	34,19	3540	71,60	-1,92	15,25	193	184	159	20	23	33	4
IpmGI >73	2,5 Y5/4	19,84	19,77	10,39	3968	3954	51,57	2,24	27,59	155	133	91	20	28	45	19
	2,5 Y6/4	29,84	30,05	17,82	3840	3867	61,70	1,39	27,53	180	158	114	20	28	45	9
	2,5 Y7/3	42,41	43,06	32,39	3599	3654	71,60	54	21,24	201	183	149	20	27	40	1



## ВИСНОВКИ

Встановлено, що візуальне визначення кольорової гама при морфологічному описі ґрунту є цілком суб'єктивним, а коректність залежить від досвідченості ґрунтознавця та моноколірності зразка. Використання шкали Манселла зменшує похибки у визначенні забарвлення на 70–80 %, що дозволяє рекомендувати саме цей спосіб як основний при польових дослідженнях.

Підтверджено, що головним чинником анізотропності забарвлення ґрунтових горизонтів досліджуваних ґрунтів є хімічний та мінералогічний склад, а неоднорідність кольорової гама та поява вибілених (знезалізненних) зон, а також тонкодисперсної пудри на поверхні агрегатів пов'язана з процесами оглеєння, імпульсним окисно-відновним режимом і процесами метаморфізації.

Встановлений взаємозв'язок між комплексом статистичних і фрактальних параметрів, який свідчить про відносну оптичну анізотропність архітекtonіки мікроморфологічних зрізів досліджуваних ґрунтів, які на макрорівні також характеризуються оптичною неоднорідністю. Процеси формоутворення самоподібних елементів їх архітекtonіки зумовлюють асиметрію та флуктуації відносних значень і збільшення напівширини автокореляційних функцій орієнтаційних томограм. Базовими складовими забарвлення зразка є червоні та зелені відтінки. Червоні відтінки детерміновані червоноколірними пігментами, а комбінація червоних та зелених відтінків відповідальна за формування жовтих тонів.

На модельному зразку (профіль Isp-6/UA-CE-VY, горизонт He(gl)) показана можливість конверсії даних з системи Манселла у систему CIE-L\*a\*b\* з незначними відхиленнями: 2,5Y5/4 в системі Манселла відповідають в системі CIE-L\*a\*b\* значенням  $L^* = 41,23$ ;  $a^* = 5,59$ ;  $b^* = 20,06$  (ручний розрахунок) та  $L^* = 41,22$ ,  $a^* = 4,97$ ,  $b^* = 19,44$  (автоматичний трансфер за допомогою Munsell Conversion 4.01). Для відповідної конверсії рекомендовано використовувати алгоритм Кіріллової-Водяницького-Сілевої.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

- Barn, V., Torrent, J., 2002. Evidence for a simple pathway to maghemite in Earth and Mars soils. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 66(15), 2801–2806.
- Beaudette, D. E., Roudier, P., O'Geen, A. T., 2013. Algorithms for quantitative pedology: a toolkit for soil scientists. *Computers & Geosciences* 52, 258–268.
- Blavet, D., Mathe, E., Leprun, J. C., 2000. Relations between soil colour and waterlogging duration in a representative hillside of the West African granito-gneissic bedrock. *Catena* 39(3), 187–210.
- Vadyunina, A. F., Korchagina, Z. A., 1986. *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv* [Methods of study of the physical properties of soil]. Moscow (in Russian).
- Vodyanitskii, Y. N., Goryachkin, S. V., Lesovaya, S. N., 2003. Iron oxides in burozems on red-colored deposits in European Russia and the color differentiation of soils. *Eurasian Soil Science* 36(11), 1145–1158.
- Vodyanitsky, Iu. N., Shishov, L. L., 2004. *Izuchenie nekotorykh pochvennykh protsessov po tsvetu pochv* [The study of some soil processes soil color]. Moscow (in Russian).
- Vodyanitsky, Iu. N., 2006. *Himiya, mineralogiya i tsvet ogleennykh pochv* [Chemistry, mineralogy and color of gleyed soils]. Moscow (in Russian).
- IUSS, WRB., 2014. World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. *World Soil Resources Reports* (106), 191.
- Karmanov, I. I., 1974. *Spektral'naya otrazhatelnaya sposobnost i tsvet pochv kak pokazateli ih svoystv* [The spectral reflectance and soil color as indicators of their properties]. Kolos, Moscow (in Russian).
- Kirilova, N. P., Vodyanitskii, Y. N., Sileva, T. M., 2015. Conversion of soil color parameters from the Munsell system to the CIE-L\* a\* b\* system. *Eurasian Soil Science* 48(5), 468–475.
- MacDonald, R., Telegin, F. J., 2002. *Tsvet v promyshlennosti* [Color in the industry]. Logos, Moscow (in Russian).
- MultiScan Base. <http://www.multiscan.com.pl>
- Munsell Conversion – Version 4.01 <http://web.archive.org/web/20020809130910/standards.gretgmacbeth.com/cmc/munsell.exe>
- Nazarenko, I. I., Polchyna, S. M., Nikorych, V. A., 2003. *Gruntoznavstvo: pidruchnyk* [Soil

- Science]. Knyhy-XXI, Chernivtsi (in Ukrainian).
- Nazarenko, I. I., Polchyna, S. M., Dmytruk, Iu. M., Smaga, I. S., Nikorych, V. A., 2006. Gruntoznavstvo z osnovamy geologii [Soil Science with the basics of geology]. Knyhy-XXI, Chernivtsi (in Ukrainian).
- Nikorych, V., Polchyna, S., Szymanski, W., Skiba, S., 2013. Variaciyi morfohenetychnyx osoblyvostej buruvato-pidzolytyh gruntiv (Albeluvisols) Peredkarpattya zalezno vid typu bioheocenu [Variations of the morphogenetic features of the Precarpathians brownish-podzolic soils (Albeluvisols) depending on the biogeocenosis type]. Ecology and Noospherology 24(3–4), 24–41 (in Ukrainian).
- Rossel, R. A. V., Minasny, B., Roudier, P., McBratney, A. B., 2006. Colour space models for soil science. Geoderma 133, 320–337.
- Sánchez-Marañón, M., Delgado, G., Melgosa, M., Hita, E., Delgado, R., 1997. CIELAB color parameters and their relationship to soil characteristics in Mediterranean red soils. Soil science 162(11), 833–842.
- Sánchez-Marañón, M., Soriano, M., Melgosa, M., Delgado, G., Delgado, R., 2004. Quantifying the effects of aggregation, particle size and components on the colour of Mediterranean soils. European journal of soil science 55(3), 551–565.

*Стаття надійшла в редакцію: 19.05.2016*