

УДК 631.4

## ЦВЕТОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ВОЛЖСКО-КАМСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

*А.А. Валеева, А.Б. Александрова, Г.Ф. Копосов*

### Аннотация

С помощью цифрового фотоаппарата получены числовые величины цвета структурно-дифференцированных почв Республики Татарстан в цветовых моделях RGB, HSB и  $L^*a^*b^*$ , позволяющие дать объективную цветовую характеристику почвам. Показано, что для лесных почв Татарстана интенсивность красного компонента цвета меняется от 97 до 187, зеленого – от 84 до 177, синего – от 40 до 158. В профиле почв по мере приближения к материнской породе наблюдается увеличение интенсивности красного и зеленого компонентов. На основании количественного определения значения цвета 340 образцов почв построены уравнения регрессии, позволяющие переводить значения RGB фотоснимков в цветовую систему Манселла.

**Ключевые слова:** цвет почвы, цветовая система Манселла, цветовая модель RGB, лесостепные почвы.

### Введение

Цвет почвы является главным морфологическим и диагностическим признаком, который определяется ее химико-минералогическим составом и дает представление о составе почвы и его физико-химических свойствах. Окраска почвы в видимом диапазоне (0.4–0.7 мкм) связана с присутствием компонентов, способных поглощать или рассеивать излучение в различных длинах волны и интенсивности. Органическое вещество, оксиды железа, карбонаты, вода и химический состав глинистых минералов являются основными компонентами, влияющими на цвет почвы [1].

В настоящее время для определения окраски почв в большинстве стран мира применяется цветовая шкала Манселла, позволяющая дать объективную характеристику цвета путем сравнения тона исследуемой почвы с цветовым эталоном. Шкала использует три основных показателя: тон, насыщенность и осветленность. Основной тон выражается заглавными буквами. Насыщенность тона и осветленность выражаются числовыми индексами. Таким образом, получается трехмерная характеристика цвета, учитывающая смешение цветов в разных пропорциях [2, 3].

Сложность приобретения цветового альбома Манселла исключает его использование многими практикующими почвоведом нашей страны. В связи с этим возникает необходимость получения цифровых данных окраски почв и дальнейшего их перевода в показатели цветовой шкалы Манселла.

В настоящее время существуют современные цветовые модели HSB, RGB, CIE  $L^*a^*b^*$ , позволяющие определять цвета горизонтов почв на цифровом языке. Возможность использования цифровых фотоаппаратов в качестве измерительного

прибора для получения объективной информации оптических свойств изучаемых объектов было отмечено в российских и зарубежных публикациях [1, 4–13].

Цель настоящей работы – количественно определить окраску горизонтов почв с помощью цифрового фотоаппарата как недорогого и объективного способа изучения морфологических свойств почв и преобразовать полученные цветовые данные в цветовые величины шкалы Манселла.

### 1. Объекты и методы

Для определения цвета использовались образцы текстурно-дифференцированных почв (серые, темно-серые, агросерые, агротемно-серые, дерново-подзолистые), отобранные на территории Республики Татарстан и подготовленные к анализу по ГОСТ 17.4.4.02-84 [14].

Обязательными условиями записи цветовых характеристик горизонтов почв с помощью фотоаппарата являются:

1) унификация условий освещения [5, 8, 11, 13]. Для этого фотосъемка почвенных образцов проводилась в помещении без дневного освещения. Источником света являлась лампа D65 с цветовой температурой 6500 К с целью имитации рассеянного дневного солнечного света;

2) калибровка фотоаппарата [5, 8, 11, 13]. Для получения точного воспроизведения цвета почвы нами были использованы цветовые мишени Color Checker фирмы X-Rite (США). Color Checker представляет собой матрицу из 24 разработанных на основе научных исследований естественных, хроматических, первичных и монохромных окрашенных квадратов с большим спектром цветов (<http://www.xritephoto.ru/foto/products/7>). Для каждого из цветов имеются количественные описания в цветовом пространстве RGB, CIE  $L^*a^*b^*$  и Munsell Notation. Используя мишень в качестве эталона, подбирались условия съемки и настройки фотоаппарата модели Panasonic DMC-TZ3.

Наиболее оптимальные условия съемки были получены при освещении двумя лампами D65 под углом  $45^\circ$  к поверхности образца на высоте нахождения фотоаппарата 60 см. Перед съемкой выполнялась ручная настройка баланса белого по белой мишени Color Checker с цветовыми характеристиками  $R = G = B = 242$ . Оптимальные настройки используемого цифрового фотоаппарата, при котором происходит правильная передача цвета, представлены в табл. 1. Для контроля правильности цветопередачи фотосъемка образцов осуществлялась в сухом и влажном состояниях совместно с мишенью Color Checker. Съемка образца без мишени приводит к погрешностям, которые связаны с коррекцией матрицы фотоаппарата в автоматическом режиме. К такому же выводу пришли авторы работы, оценившие гумусированность почв путем обработки цифровых фотоизображений [5]. Перед съемкой почва (~500 мг) высыпалась на черный лист бумаги размером  $3 \times 3$  см и накрывалась стеклом для сглаживания неровностей. Затем стекло убиралось и производилась фотосъемка образца. Далее этот же образец смачивался 1–2 каплями дистиллированной воды и снимался в равномерно увлажненном состоянии.

Количественный анализ цвета сухой и влажной почвы проводился в программе Photoshop в трех цветовых пространствах: RGB, CIE  $L^*a^*b^*$  и HSB. Определение цвета образца проводили с помощью «пипетки» в усредненной области

Табл. 1

Настройки фотоаппарата модели Panasonic DMC-TZ3

Настройки	Значения
Вспышка	Выключена
ISO	Авто
Формат	4 : 3
Качество	Самое лучшее
Режим замера	Центрально-взвешенный
Режим АФ	Фокусировка в центре изображения
Скорость затвора	1/8
Цветовой режим	Natiral

размером  $5 \times 5$  пикселя. Дополнительно были определены цвета сухой и влажной почв с помощью цветовой шкалы Манселла.

В аддитивной модели RGB компонентные цвета обозначены нами как  $R_{RGB}$ ,  $G_{RGB}$  и  $B_{RGB}$ . В цветовой модели HSB (Hue Saturation Brightness) цвет, определяемый тоном (H), насыщенностью (S) и яркостью (B), в тексте обозначен как  $H_{HSB}$ ,  $S_{HSB}$  и  $B_{HSB}$  соответственно. В модели CIE  $L^*a^*b^*$ , являющейся производной цветовой модели XYZ, компонент  $L$  определяет яркость изображения, компонент  $a$  изменяется от зеленого до красного, а компонент  $b$  – от синего до желтого [1, 3, 8].

Преобразование значений RGB фотоснимков в значения индексов насыщенности (SI) и красноты (RI) проводили с помощью алгоритмов, описанных в работе Левина с соавторами [1]. Для вычисления компонентов  $H_{RGB}$ ,  $I_{RGB}$  и  $S_{RGB}$  были использованы формулы, предложенные Росселом с соавторами [3], где данные компоненты соответствуют тону, светлоте и насыщенности цвета.

Для определения взаимосвязи цветовых величин с данными визуального определения по цветовой шкале Манселла были составлены две независимые выборки. Первая экспериментальная выборка, состоящая из 170 сухих и 170 влажных образцов почв, использовалась для построения уравнений регрессии. С помощью второй контрольной выборки ( $n = 14$ ) проверялись эмпирические коэффициенты уравнений регрессии.

## 2. Результаты и их обсуждение

В табл. 2 представлены результаты съемки семи цветowych мишеней, распространенных в почве. В процессе калибровки фотоаппарата было обнаружено, что для съемки мишени разной светлоты требуется ручная настройка экспозиции. Черный цвет лучше воспроизводится при выборе экспозиции 0 EV. Темно-коричневый цвет и нейтральные цвета 3.5, 5 – при экспозиции  $-1/3$  EV. Нейтральные цвета 6.5, 8 и белый цвет – при экспозиции  $-2/3$  EV. Промежуточные по окраске образцы лучше передают свои оптические свойства при экспозиции  $-1/3$  EV. Представленные настройки могут быть индивидуальными для разных фотоаппаратов. Данные табл. 2 показывают, что значения RGB на снимках корректно воспроизводятся с низким коэффициентом вариации.

На рис. 1 представлено положение горизонтов почв в трехмерной декартовой плоскости RGB. Диаграммы наглядно демонстрируют обособление гумусовых горизонтов от текстурной части профиля. Переходный горизонт BEL (AUB) занимает промежуточное положение.

Табл. 2

Наблюдаемые значения RGB мишеней и их коэффициенты вариации ( $n = 10$ )

Цвет мишени Color Checker	Ожидаемое значение RGB*	Наблюдаемое значение		
		R ( $V_R, \%$ )	G ( $V_G, \%$ )	B ( $V_B, \%$ )
Черный	52 52 52	48 (4.0)	51 (1.6)	51 (3.1)
Коричневый	115 82 68	118 (0.6)	82 (0.9)	68 (0.7)
Нейтральный 3.5	85 85 85	85 (2.7)	86 (2.8)	87 (0.7)
Нейтральный 5	122 122 121	120 (1.5)	122 (1.9)	124 (1.5)
Нейтральный 6.5	160 160 160	162 (1.2)	163 (1.5)	165 (1.1)
Нейтральный 8	200 200 200	200 (2.4)	200 (1.8)	201 (1.6)
Белый	243 243 242	243 (2.7)	242 (2.8)	241 (2.8)

\* Значения RGB были предоставлены компанией X-Rite при покупке мишени.

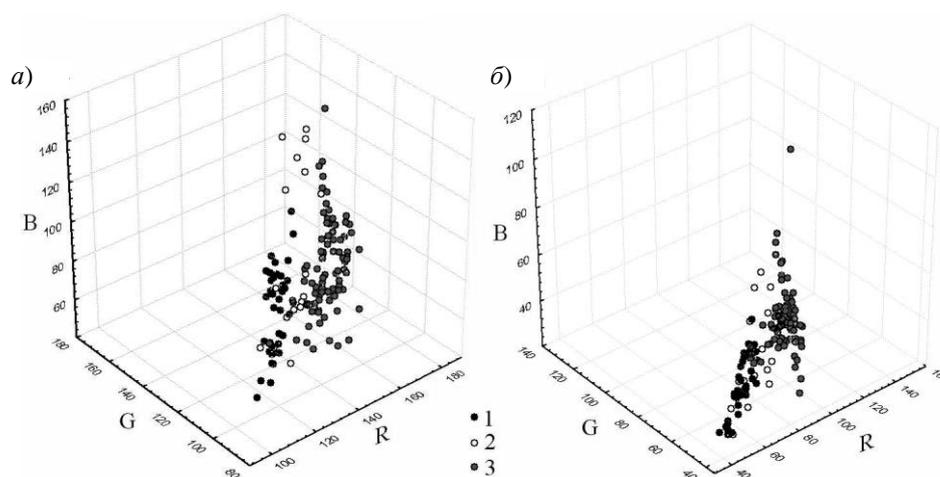


Рис. 1. Диаграмма рассеяния переменных RGB сухих (а) и влажных (б) образцов почв (1 – гор. А, 2 – гор. АUB и BEL, 3 – гор. В)

Процесс дифференциации почвообразующей толщи сопровождается изменением цветовой гаммы профиля почв (рис. 2). Интенсивность красного компонента цвета изученных почв варьируется от 97 до 187, зеленого – от 84 до 177, синего – от 40 до 158. В профиле по мере приближения к материнской породе наблюдается закономерное увеличение интенсивности красного и зеленого компонентов. Широкий диапазон изменения всех цветовых компонентов наблюдается в материнской породе и субэлювиальном горизонте. Это связано как с пестрой окраской пород пермской системы татарского яруса, так и с наличием скелетан.

В качестве образца представлена цветовая гамма профиля естественного представителя виртуального образа серой почвы [15] в моделях RGB, HSB и CIE  $L^*a^*b^*$  (табл. 3). В текстурной части профиля рассматриваемой почвы наблюдается плавный переход желто-бурого цвета в красно-бурый.  $H_{HSB}$  сухих и влажных образцов почв гор. АУ, АYL, BEL, ВТ варьирует в пределах 24–30°, что соответствует тону Манселла 10YR. В горизонтах ВС и С  $H_{HSB}$  находится в диапазоне 19–21°, что соответствует тону Манселла 5YR.

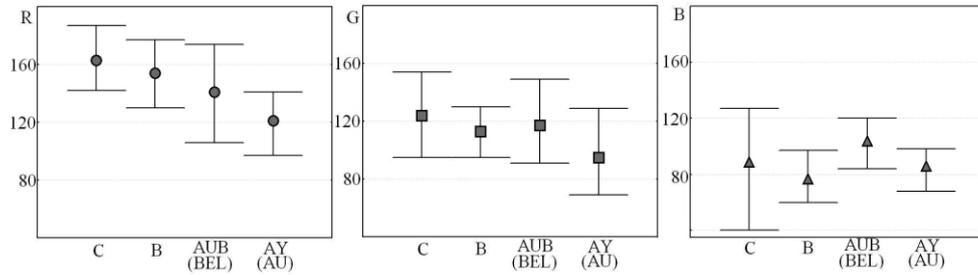


Рис. 2. Диапазон варьирования красного, зеленого и синего компонентов цвета в модели цвета RGB в профиле текстурно-дифференцированных почв Татарстана ( $M \pm \min - \max$ )

Табл. 3

Результаты определения цвета профиля серой почвы (в числителе результаты определения в сухих образцах, в знаменателе – во влажных образцах)

Гор.	Значения получены с использованием фотоснимков профиля									Значения цвета Манселла	
	$R_{RGB}$	$G_{RGB}$	$B_{RGB}$	HSB	$L^*a^*b^*$	RI	$H_{RGB}$	SI	$I_{RGB}$		$S_{RGB}$
AY	129	112	95	30 26 51	49 5 12	0.000125	0.0	0.15	112	17	10YR 5/2
	71	54	39	28 45 28	24 6 13	0.000821	-0.5	0.29	55	16	10YR 2/2
AEL	156	139	120	32 23 61	59 4 13	$7.55 \cdot 10^{-0.5}$	0.5	0.13	138	18	10YR 6/2
	76	60	44	30 42 30	27 5 13	0.000608	0.0	0.27	60	16	10YR 3/2
BEL	165	130	107	24 35 65	57 11 18	0.000116	-3.0	0.21	134	29	10YR 6/3
	100	72	45	28 55 39	33 10 21	0.000595	-0.3	0.38	72	28	10YR 3/3
BT <sub>1</sub>	169	132	99	28 41 66	58 11 24	0.000125	1.0	0.26	133	35	10YR 6/4
	117	73	41	25 65 46	36 17 27	0.000858	-3.0	0.48	77	38	7.5YR 4/4
BT <sub>2</sub>	166	130	97	29 42 65	57 11 23	0.000129	-0.8	0.26	131	35	10YR 6/5
	117	73	38	27 68 46	36 17 29	0.000926	-2.3	0.51	76	40	7.5YR 4/4
BC	157	100	70	21 55 62	48 21 27	0.000352	-6.8	0.38	109	44	5 YR 5/4
	98	54	31	21 68 38	28 19 23	0.001967	-5.3	0.52	61	34	5 YR 4/4
Cca	178	130	108	19 39 70	61 23 23	0.000134	-6.8	0.24	139	35	5 YR 6/4
	123	72	47	20 62 48	36 20 25	0.000862	-6.5	0.45	81	38	5 YR 4/6

$S_{HSB}$  и индекс насыщенности (SI) возрастает к горизонту BC, что указывает на усиление насыщенности цвета. Наименьший индекс красноты (RI) в сухих образцах наблюдается в гор. AEL и увеличивается вниз по профилю (табл. 3). Максимальные величины RI наблюдаются в гор. BC, что связано со слабой выветрелостью материнской породы и её обогащенностью оксидами железа [16]. Высокая корреляция индекса красноты с содержанием свободных оксидов железа была показана в работе [1].

В гумусово-элювиальном горизонте и в материнской породе величина интенсивности светлоты ( $I_{RGB}$ ) характеризуется близкими числовыми значениями. Несмотря на это, причина осветленной окраски имеет различное происхождение. В гор. AEL она связана с выносом несиликатных форм железа, а в гор. C обусловлена наличием новообразований карбонатов кальция в красноцветных пермских отложениях.

Для выявления взаимосвязи изученных оптических свойств почв, представленных в трех цветовых моделях, со шкалой Манселла был проведен корреляционный анализ данных сухих и влажных образцов почв ( $n = 340$ ). Были обнаружены следующие значимые корреляции: цветовой тон (Hue), определенный

Табл. 4

Результаты определения оптических свойств почв контрольной выборки с помощью уравнений регрессии

Тон (Hue) Визуальное/Цифровое	Светлота (Value) Визуальное/Цифровое	Насыщенность (Chroma) Визуальное/Цифровое
10/10	5/5	2/2
10/10	2/3	2/2
10/8	6/6	2/2
10/9	3/3	2/2
10/9	6/6	3/3
5/6	3/3	3/3
5/6	6/6	4/4
10/9	4/4	4/5
10/10	6/6	5/4
10/10	4/4	4/5
7.5/8	5/5	4/5
7.5/8	4/3	4/4
5/5	6/6	4/4
5/5	4/4	6/5

визуально, сильно коррелирует с величиной  $H_{RGB}$  ( $r = 0.83$ ,  $p = 0.00$ ); светлота (Value) в системе Манселла коррелирует со значениями яркости ( $B_{HSB}$ ) ( $r = 0.96$ ,  $p = 0.00$ ) и величиной  $I_{RGB}$  ( $r = 0.95$ ,  $p = 0.00$ ); насыщенность цвета (Chroma) коррелирует с величиной  $S_{RGB}$  ( $r = 0.91$ ,  $p = 0.00$ ).

По цветовым данным почв построены уравнения регрессии при диапазоне измерения  $H_{RGB}$  от  $-7.8$  до  $2.8$ ,  $I_{RGB}$  от  $34$  до  $174$  и  $S_{RGB}$  от  $3$  до  $46$ :

$$\text{Hue} = 9.71 + 0.63 \cdot H_{RGB}, \quad d_{yx} = 73\%, \quad S_{yx} = 0.70, \quad (1)$$

$$\text{Value} = 0.58 + 0.04 \cdot I_{RGB}, \quad d_{yx} = 83\%, \quad S_{yx} = 0.57, \quad (2)$$

$$\text{Chroma} = 0.03 + 0.12 \cdot S_{RGB}, \quad d_{yx} = 83\%, \quad S_{yx} = 0.63. \quad (3)$$

В качестве контрольной выборки ( $n = 14$ ) был выбран профиль серой почвы, представленный в табл. 3. Анализ данных контрольной выборки показал, что с помощью уравнения (1) цветовой тон Манселла 10YR был определен как 10YR и 9YR, тон 7.5YR – как 8YR. Результат получается округлением до целого числа.

Тон 5YR во влажных образцах был определен как 5YR. Поскольку влажные образцы наиболее насыщены по цвету, то визуальные наблюдения совпали с расчетными (определенными по уравнению (1)).

В сухих образцах тон 5YR расчетным методом был определен как 6YR (табл. 4). Это объясняется ограниченным числом цветов и полутонов в шкале Манселла, что было отмечено многими исследователями [1, 3, 17]. Величина светлоты (Value), полученная с помощью уравнения (2), правильно определена на 86%. Насыщенность цвета, рассчитанная уравнением (3), определена правильно на 79% (табл. 4). Прогноз по контрольной выборке укладывается в доверительный интервал.

### Заключение

С помощью цифрового фотоаппарата определены количественные величины главного морфологического свойства почв – цвета, которые позволяют получать объективную информацию и проводить статистическую обработку данных. Приведены цифровые данные цвета в модели RGB текстурно-дифференцированных почв Волжко-Камской лесостепи.

На основе полученных цветовых данных установлена сильная корреляция между цветовыми величинами, определенными по шкале Манселла, и цифровыми величинами:  $H_{RGB}$ ,  $V_{HSB}$ ,  $I_{RGB}$ ,  $S_{RGB}$ .

Построены уравнения регрессии, позволяющие переводить цифровые данные фотоснимков в цветовые величины шкалы Манселла.

### Литература

1. Levin N., Ben-Dor E., Singer A. A digital camera as a tool to measure colour indices and related properties of sandy soils in semi-arid environments // *Int. J. Remote Sensing*. – 2005. – V. 26, No 24. – P. 5475–5492.
2. Розанов Б.Г. Морфология почв. – М.: Акад. проект, 2004. – 432 с.
3. Viscarra Rossel R.A., Minasny B., Roudier P., McBratney A.B. Colour space models for soil science // *Geoderma*. – 2006. – V. 133, No 3–4. – P. 320–337.
4. Ачасов А.Б., Бидолах Д.И. Использование материалов космической и наземной цифровой фотосъемки для определения содержания гумуса в почвах // *Почвоведение*. – 2008. – № 3. – С. 280–286.
5. Булыгин С.Ю., Бидолах Д.И., Лисецкий Ф.Н. Оценка гумусированности почв путем обработки их цифровых фотоизображений // *Науч. вестн. Белгор. гос. ун-та. Сер. Естеств. науки*. – 2011. – Т. 16, № 15. – С. 154–159.
6. 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.
7. Adderley W.P., Simpson I.A., Davidson D.A. Colour description and quantification in mosaic images of soils thin sections // *Geoderma*. – 2002. – V. 108, No 3–4. – P. 181–195.
8. León K., Mery D., Pedreschi F., León J. Color measurement in  $L^*a^*b^*$  units from RGB digital images // *Food Res. Int.* – 2006 – V. 39, No 10. – P. 1084–1091.
9. Melville M.D., Atchinson G. Soil colour: its measurement and its designation in models of uniform colour space // *J. Soil Sci.* – 1985. – V. 36, No 4. – P. 495–512.
10. Robertson E.A.G., Campbell D.J. Simple, low-cost image analysis of soil pore structure // *J. Agric. Eng. Res.* – 1997. – V. 68, No 4. – P. 291–296.
11. Yam K.L., Papadakis S.E. A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food samples // *J. Food Eng.* – 2004. – V. 61, No 1. – P. 137–142.
12. Warner W.S. Mapping a three-dimensional soil surface with hand-held 35 mm photography // *Soil Tillage Res.* – 1995. – V. 34, No 3. – P. 187–197.
13. Webster M.A., Mollon J.D. Adaptation and the color statistics of natural images // *Vision Res.* – 1997. – V. 37, No 23. – P. 3283–3298.
14. ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 8 с.

15. *Валеева А.А.* Серые лесные почвы Волжско-Камской лесостепи: количественный подход к классификации: Дис. ... канд. биол. наук. – Казань, 2014. – 136 с.
16. *Газизуллин А.Х.* Генезис почв, сформированных на красноцветных пермских отложениях Среднего Поволжья и Предуралья // Почвоведение. – 1995. – № 9. – С. 1071–1081.
17. *Viscarra Rossel R.A., Cattle S.R., Ortega A., Fouad Y.* In situ measurements of soil colour, mineral composition and clay content by vis-NIR spectroscopy // *Geoderma*. – 2009. – V. 150, No 3–4. – P. 253–266.

Поступила в редакцию  
08.05.15

---

**Валеева Альбина Альбертовна** – кандидат биологических наук, ассистент кафедры почвоведения, Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия.  
E-mail: [valeyabc@mail.ru](mailto:valeyabc@mail.ru)

**Александрова Асель Биляловна** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биогеохимии, Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан, г. Казань, Россия.  
E-mail: [adabl@mail.ru](mailto:adabl@mail.ru)

**Копосов Геннадий Федорович** – доктор биологических наук, профессор кафедры почвоведения, Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия.  
E-mail: [gkoposov@yandex.ru](mailto:gkoposov@yandex.ru)

\* \* \*

## COLOUR CHARACTERISTICS OF THE FOREST SOILS IN THE VOLGA-KAMA FOREST-STEPPE REGION

*A.A. Valeeva, A.B. Alexandrova, G.F. Kuposov*

### Abstract

The numerical values of colour characteristics in the structurally differentiated soils of the Republic of Tatarstan have been obtained using the colour space models (RGB, HSB, and  $L^*a^*b$ ), which make it possible to objectively describe the colour of soils. It has been shown that the intensity of colour components of the forest soils in Tatarstan changes in the following way: from 97 to 187 for red, from 84 to 177 for green, and from 40 to 158 for blue. The intensity of red and green components in the soil profile increases as moving closer to the parent material. Based on the quantitative determination of colour values in 340 soil samples, the regression equations enabling the conversion of RGB images into the Munsell colour system have been constructed.

**Keywords:** soil colour, Munsell colour system, RGB colour model, forest-steppe soils.

### References

1. Levin N., Ben-Dor E., Singer A. A digital camera as a tool to measure colour indices and related properties of sandy soils in semi-arid environments. *Int. J. Remote Sens.*, 2005, vol. 26, no. 24, pp. 5475–5492.
2. Rozanov B.G. Soil Morphology. Moscow, Akademicheskii proekt, 2004. 432 p. (In Russian)
3. Viscarra Rossel R.A., Minasny B., Roudier P., McBratney A.B. Colour space models for soil science. *Geoderma*, 2006, vol. 133, nos. 3–4, pp. 320–337.
4. Achasov A.B., Bidolakh D.I. The use of space and ground digital photography for determining the humus content in soils. *Soil Sci.*, 2008, vol. 41, no. 3, pp. 249–254.

5. Bulygin S.Yu., Bidolakh D.I., Lisetskii F.N. Evaluation of soil humus content by treatment of their digital photos. *Nauchn. Vedomosti Belgorod. Gos. Univ. Ser. Estestv. Nauki*, 2011, vol. 16, no. 15, pp. 154–159. (In Russian)
6. Puzachenko Yu.G., Puzachenko M. Yu., Kozlov D.N., Aleshchenko G.M. Soil structure analysis with the use of digital color images. *Soil Sci.*, 2004, vol. 37, no. 2, pp. 109–121.
7. Adderley W.P., Simpson I.A., Davidson D.A. Colour description and quantification in mosaic images of soils thin sections. *Geoderma*, 2002, vol. 108, nos. 3–4, pp. 181–195.
8. León K., Mery D., Pedreschi F., León J. Color measurement in  $L^*a^*b^*$  units from RGB digital images. *Food Res. Int.*, 2006, vol. 39, no. 10, pp. 1084–1091.
9. Melville M.D., Atchinson G. Soil colour: Its measurement and its designation in models of uniform colour space. *J. Soil Sci.*, 1985, vol. 36, no. 4, pp. 495–512.
10. Robertson E.A.G., Campbell D.J. Simple, low-cost image analysis of soil pore structure. *J. Agric. Eng. Res.*, 1997, vol. 68, no. 4, pp. 291–296.
11. Yam K.L., Papadakis S.E. A simple digital imaging method for measuring and analyzing color of food samples. *J. Food Eng.*, 2004, vol. 61, no. 1, pp. 137–142.
12. Warner W.S. Mapping a three-dimensional soil surface with hand-held 35 mm photography. *Soil Tillage Res.*, 1995, vol. 34, no. 3, pp. 187–197.
13. Webster M.A., Mollon J.D. Adaptation and the color statistics of natural images. *Vision Res.*, 1997, vol. 37, no. 2, pp. 3283–3298.
14. State Standard 17.4.4.02-84. The nature conservancy. Soils. Methods of sampling and sample preparation for chemical, bacteriological, helminthological analysis. Moscow, Izd. standartov, 1985. 8 p. (In Russian)
15. Valeeva A.A. Gray forest soils in the Volga-Kama forest-steppe region: quantitative approach to classification. *Cand. Biol. Sci. Diss. Kazan*, 2014. 136 p. (In Russian)
16. Gazizullin A.Kh. Genesis of soils formed on the red beds of Central Volga and Cis-Urals. *Soil Sci.*, 1996, vol. 28, no. 11, pp. 38–52.
17. Viscarra Rossel R.A., Cattle S.R., Ortega A., Fouad Y. In situ measurements of soil colour, mineral composition and clay content by vis–NIR spectroscopy. *Geoderma*, 2009, vol. 150, nos. 3–4, pp. 253–266.

Received  
May 8, 2015

---

**Valeeva Al'bina Al'bertovna** – PhD in Biology, Assistant Lecturer, Department of Soil Science, Kazan Federal University, Kazan, Russia.

E-mail: [valeyabc@mail.ru](mailto:valeyabc@mail.ru)

**Alexandrova Asel' Bilyalovna** – PhD in Biology, Senior Research Fellow, Laboratory of Biogeochemistry, Institute of Ecology and Subsoil, Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russia.

E-mail: [adabl@mail.ru](mailto:adabl@mail.ru)

**Koposov Gennagii Fedorovich** – Doctor of Biology, Professor, Department of Soil Science, Kazan Federal University, Kazan, Russia.

E-mail: [gkoposov@yandex.ru](mailto:gkoposov@yandex.ru)