

Московская гимназия на Юго-Западе № 1543
Кафедра биологии

**Исследование изменчивости цвета венчика у первоцвета
обыкновенного (*Primula vulgaris* s.l.)**

Отчет о научно-исследовательской работе

Автор:
Бойко Анна (10Б)

Научные руководители:
Волкова Полина Андреевна
к.б.н. Шипунов Алексей Борисович

Москва
2008

Введение

В ходе многих биологических исследований требуется дать описание внешних признаков живых организмов. Наиболее сложными для описания являются качественные признаки, например, цвет. Очевидно, что словесное описание цветов (в особенности, если рассматриваются сложные оттенки одного и того же цвета) субъективно, что затрудняет объединение опыта различных исследователей. Восприятие цвета может меняться даже у одного и того же человека – в зависимости от интенсивности и спектрального состава освещения, состояния объекта (при работе с незафиксированным объектом), цветопередачи (при работе с объектом, зафиксированным с помощью фотосъемки) и других факторов.

По этой причине разработаны методики, позволяющие описывать цвет объективно, с помощью цветowych палитр, широко используемых в графических компьютерных редакторах. При таком подходе цвет разлагается на составляющие, и любой оттенок описывается как сочетание таких составляющих (цветовых компонент) в определенных пропорциях. В настоящее время наибольшее распространение получили три цветowych палитры. Одна палитра основана на восприятии цвета человеком – **HSB** (составляющие: собственно цвет, его насыщенность и яркость). Другая палитра используется при выводе изображений на печать – **CMYK** (голубой, фуксиновый, желтый и черный). Третья палитра является международным стандартом для характеристики цветов и не зависит от способа генерирования цвета – **Lab** (яркость, переход от зеленого к красному и переход от голубого к желтому). Основным недостатком описания цвета при помощи цветowych палитр является необходимость перевода изображения объекта описания в цифровой вид. Менее точный, но лишенный указанного недостатка метод, заключается в сравнении цвета объекта с заранее разработанной цветовой шкалой (набором эталонных оттенков). Насколько нам известно, ранее работ по сравнению эффективности применения этих двух основных методов для объективного описания цвета биологических объектов не проводилось.

Необходимость объективной оценки цвета возникает во многих таксономических исследованиях, где цвет той или иной части организма (например, цвет венчика цветка или окраска оперения у птиц) зачастую используется для разграничения близких видов и подвидов. Хорошим примером такой ситуации является обычное на черноморском побережье России растение – первоцвет обыкновенный, *Primula vulgaris* Huds. s.l. В пределах этого полиморфного вида разные исследователи выделяют до пяти подвидов (рассматриваемых иногда в ранге видов), основываясь преимущественно на окраске венчика цветков. Так, описаны *P. komarovii* Lozina-Lozinsk. со снежно-белыми цветками, *P. vulgaris* s. str. с желтыми цветками, *P. woronowii* Lozina-Lozinsk. с розовыми цветками, *P. sibthorpii* Hoffm. с темно-розовыми цветками и *P. abchasica* Sosn. с пурпурными цветками (Лозина-Лозинская, 1933; Колаковский, 1985).

Целью данной работы было сравнение двух основных объективных методов характеристики цвета (при помощи цветowych палитр в графическом редакторе и при помощи сравнения с цветовой шкалой в полевых условиях) на примере разнообразно окрашенных цветков первоцвета обыкновенного.

Материалы и методы

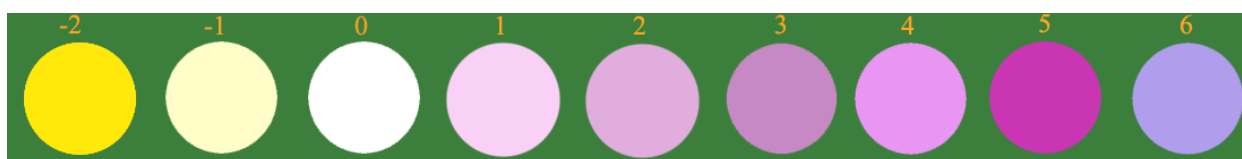
Сбор материала

Сбор материала в полевых условиях проходил в марте 2004-2005 годов на Черноморском побережье от пос. Архипово-Осиповка (район г. Туапсе) до г. Гагра (Абхазия). Всего было исследовано 32 растения (по одному цветку с каждого растения).

Определение цвета венчика методом сравнения с цветовой шкалой

Для определения цвета венчика примулы была разработана цветовая шкала (рис. 1) из девяти эталонных оттенков (основные цвета венчика примулы) на зеленом фоне. Зеленый фон был выбран потому, что в полевых условиях восприятие цвета венчика обычно происходит на фоне зеленых листьев. Шкала была распечатана на принтере HP Color Laser Jet 4550. При определении цвета венчика по шкале в полевых условиях выбирали эталонный оттенок, наиболее близкий, по мнению наблюдателя, к цвету венчика.

Рисунок 1. Цветовая шкала, использованная для определения цвета венчика примулы



Условные названия использованных оттенков:

-2 – желтый,	1 – светло-розовый	4 – розово-фиолетовый
-1 – лимонный	2 – розовый	5 – малиновый
0 – белый	3 – темно-розовый	6 – сине-фиолетовый

Определение цвета венчика при помощи цветových палитр в графическом редакторе

Для последующего определения цвета венчика при помощи цветových палитр каждый из исследованных цветков был сфотографирован цифровым фотоаппаратом Nikon E5700 на фоне цветовой шкалы. Промеры цвета венчика проводились на полученных фотографиях в программе Adobe Photoshop CS2 9.0.

Были измерены следующие цветové компоненты:

- **Hue** (собственно цвет цветовой палитры HSB) – измеряется в градусах. В том случае, если полученное значение было отрицательным, то к нему прибавляли 360° для стандартизации данных.
- **Cyan** (содержание голубой компоненты цветовой палитры CMYK) – измеряется в процентах.
- **Lightness** (яркость цветовой палитры Lab).

Мы измеряли параметры цвета на следующих участках фотографии:

- Венчик цветка;
- Оттенок на цветовой шкале, определенный в поле (визуально) как ближайший по цвету к лепестку (далее «полевой круг»);
- Оттенок на цветовой шкале, цвет которого было ближайшим к измеренному значению цвета лепестка по промерам цвета (далее «домашний круг»);
- Зеленый фон на цветовой шкале.

На каждом участке по каждой из цветových компонент промеряли три «наилучшие» точки (размером 5x5 пикселей). «Наилучшими» мы называли ближайшие к лепестку точки без дефектов (бликов, перегибов и пр.). Полученные три промера проверяли на достоверное отличие от нуля, используя одновыборочный тест Стьюдента. Если промеры достоверно

отличались от нуля ($p < 0.1$), то в дальнейшем мы анализировали их среднее арифметическое. Если промеры достоверно не отличались от нуля, то мы анализировали наименьший из этих трех промеров.

Затем проводилась «калибровка» цвета лепестка, «полевого круга» и «домашнего круга» по зеленому фону: из усредненных значений каждого из участков вычиталось усредненное значение зеленого фона на этой фотографии. Эта операция позволяла избавиться от различий в цвете, вызванных разными условиями съемки. Дальнейших анализ данных мы проводили, используя эти усредненные калиброванные значения цветовых промеров.

Анализ данных

Мы анализировали значения трех цветовых компонент (Hue, Cyan, Lightness) для трех объектов: венчика цветка, «полевого круга» и «домашнего круга». Для каждой компоненты мы выясняли: (1) есть ли достоверное различие между всеми парами объектов (тест Стьюдента) и (2) Если различие достоверно, то систематично ли оно? (корреляционный тест Пирсона). Кроме того, мы анализировали, насколько адекватно три избранные цветовые компоненты характеризуют цвет венчика, определенный визуально при помощи цветовой шкалы (трехмерные диаграммы рассеяния). Для компоненты Hue использовались специальные версии теста Стьюдента и теста Пирсона, адаптированные для градусных переменных. Все вычисления и графический анализ данных проводили при помощи статистической среды R (R Development Core Team, 2007).

Результаты

Сравнение промеров цветов венчика примулы, «домашнего круга» и «полевого круга» показало, что по всем цветовым компонентам все три объекта достоверно отличаются друг от друга (табл. 1).

Таблица 1. Сравнение промеров цветов венчика примулы, «домашнего круга» и «полевого круга», тест Стьюдента. Приведены значения t-критерия и вероятности статистической ошибки первого рода (p). Все различия достоверны при $p < 0.05$.

Исследуемая компонента	Hue	Cyan	Lightness
Пары сравниваемых промеров			
Венчик – «полевой круг»	t=5.4 p=0	t=6.5 p=0	t=-8.4 p=0
Венчик – «домашний круг»	t=2.7 p=0.01	t=2.2 p=0.036	t=-2.7 p=0.012
«Полевой круг» – «домашний круг»	t=4.2 p=0	t=-5.4 p=0	t=5.8 p=0

Корреляционный тест показал, что значения цветового компонента Lightness для всех трех исследованных объектов имеют очень высокую положительную корреляцию между собой. Среднюю положительную корреляцию демонстрируют промеры

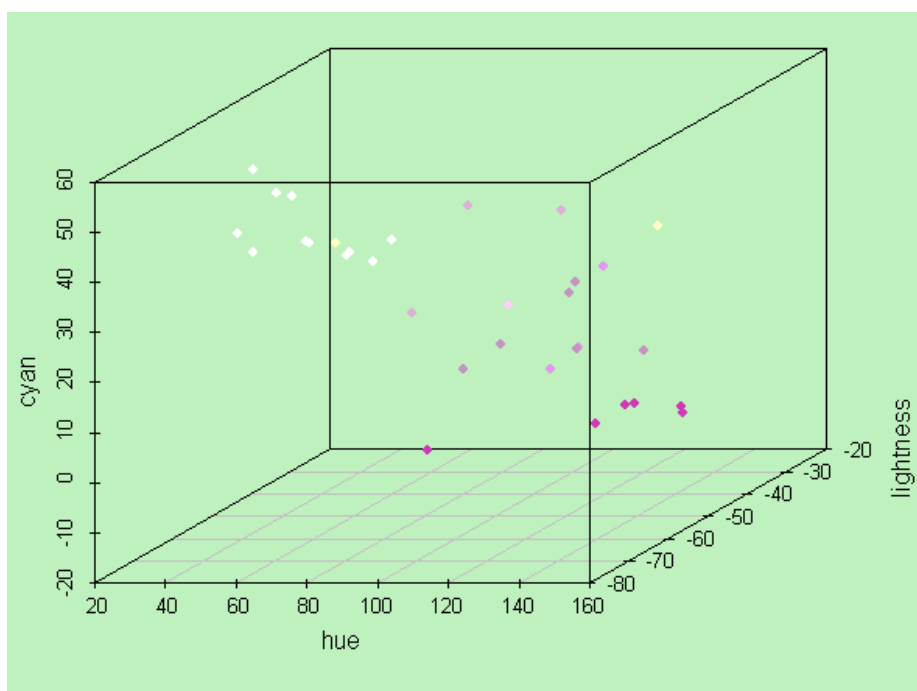
компонента Суап для пар венчик -- «домашний круг» и «полевой круг» -- «домашний круг», а также компонента Hue для пары венчик -- «домашний круг».

Таблица 2. Связь между промерами цветов венчика примулы, «домашнего круга» и «полевого круга», корреляционный тест Пирсона. Приведены значения коэффициента корреляции (r) и вероятности статистической ошибки первого рода (p). Достоверные при $p < 0.05$ коэффициенты корреляции выделены полужирным шрифтом.

Исследуемая компонента	Hue	Cyan	Lightness
Пары сравниваемых промеров			
Венчик – «полевой круг»	$r=-0.10$ $p=0.59$	$r=0.29$, $p=0.11$	$r=0.89$ $p=0$
Венчик – «домашний круг»	$r=0.68$ $p=0.004$	$r=0.51$ $p=0.003$	$r=0.94$ $p=0$
«Полевой круг» – «домашний круг»	$r=0.36$ $p=0.063$	$r=0.51$ $p=0.003$	$r=0.85$ $p=0$

Анализ описания определенного визуально цвета венчика путем промеров цветовых компонент дал следующие результаты. Промеры цветовых компонент на фотографии венчика позволяют удовлетворительно разделить большинство определенных визуально цветов (рис. 2). Исключение составляет желтый цвет – один цветок этого цвета отнесен к белым, а другой – к розовым. Однако малый размер выборки (всего два желтых цветка) не позволяет отметить какие-либо закономерности. Интересно также, что пурпурные цветки уверенно отличаются от розовых, тогда как разные оттенки розового (светлый, темный, фиолетовый) смешаны между собой. Следует, однако, обратить внимание на два розовых цветка, располагающихся между «облаками» белых и красных цветков.

Рисунок 2. Распределение определенных визуально цветов венчика в пространстве трех измеренных компонент цвета. Компоненты измерялись на фотографии венчика.



Измерения цветовых компонентов эталонных оттенков цветовой шкалы, которые были определены как ближайшие по цвету к венчику примулы, не позволяет уверенно описывать цвета венчика примулы, определенные визуально (рис. 3, 4). Этот результат не зависит от способа определения ближайшего по цвету эталонного оттенка: в полевых условиях (рис. 3) и по промерам цветовых компонентов на фотографии (рис. 4). В обоих случаях мы можем лишь выделить слабо обособленные области белых и «не-белых» цветков.

Рисунок 3. Распределение определенных визуально цветов венчика в пространстве трех измеренных компонент цвета. Компоненты измерялись на фотографии круга цветовой шкалы, определенного как наиболее близкий по цвету к венчику при полевых исследованиях.

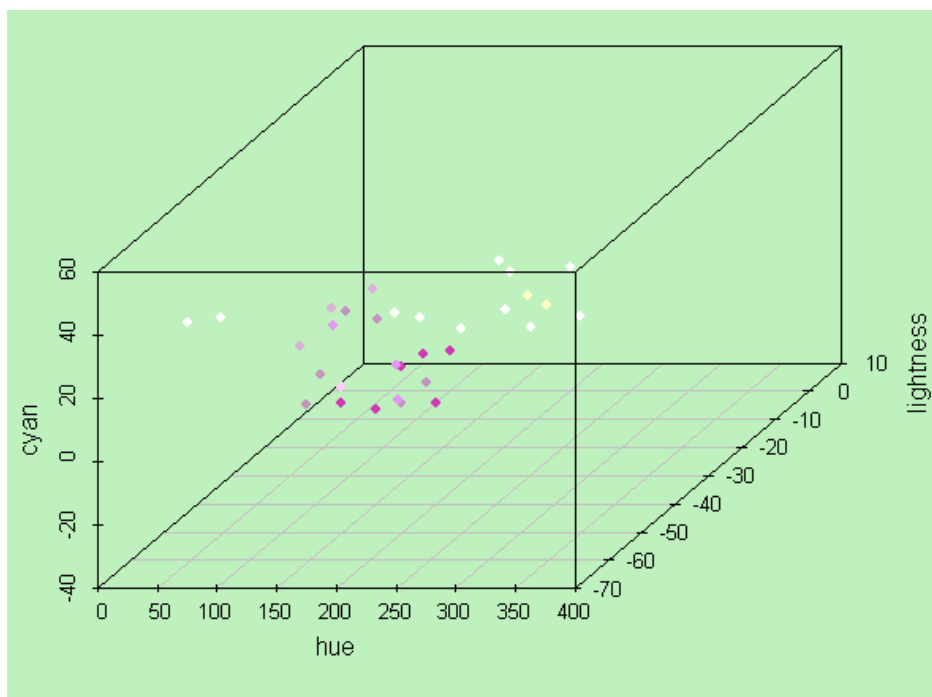
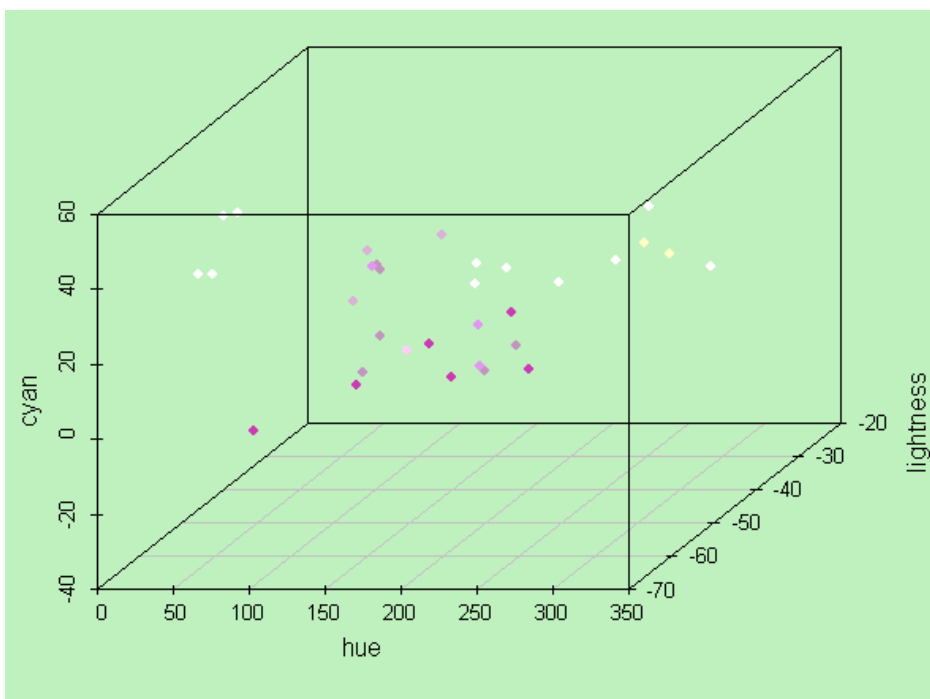


Рисунок 4. Распределение определенных визуально цветов венчика в пространстве трех измеренных компонент цвета. Компоненты измерялись на фотографии круга цветовой шкалы, определенного как наиболее близкий по цвету к венчику по промерам на фотографии.



Отдельные цветовые компоненты еще менее удовлетворительно разграничивают оттенки венчика первоцвета, определенные визуально. По содержанию в оттенке голубой компоненты цветовой палитры CMYK можно с некоторой степенью уверенности различить только белый от розово-фиолетового и малинового (рис. 5). Значения цвета цветовой палитры HSB позволяют уверенно отличать желтый и белый от всех оттенков красного (рис. 6). Значения яркости по цветовой палитре Lab разграничивают «светлые» оттенки (желтый, белый, светло-розовый и розовый) от «темных» (темно-розовый, розово-фиолетовый, малиновый) (рис. 7).

Рисунок 5. Содержание голубой компоненты цветовой палитры CMYK в разных оттенках венчика первоцвета (измерено на фотографии). Номера эталонных оттенков соответствуют рис. 1. Для каждого оттенка показана медиана, квартильный размах и абсолютный размах значений.

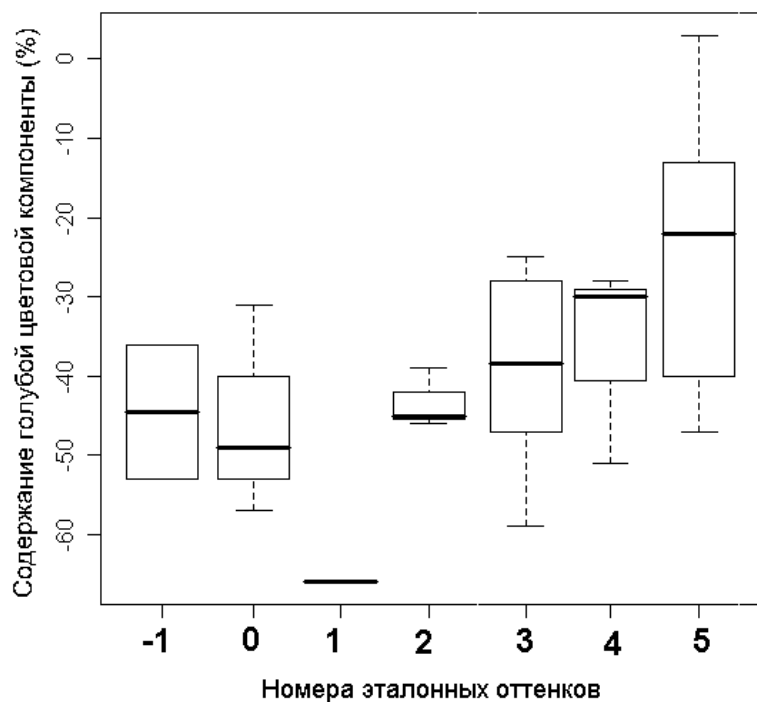


Рисунок 6. Цвет цветовой палитры HSB в разных оттенках венчика первоцвета (измерено на фотографии). Номера эталонных оттенков соответствуют рис. 1. Для каждого оттенка показана медиана, квартильный размах и абсолютный размах значений.

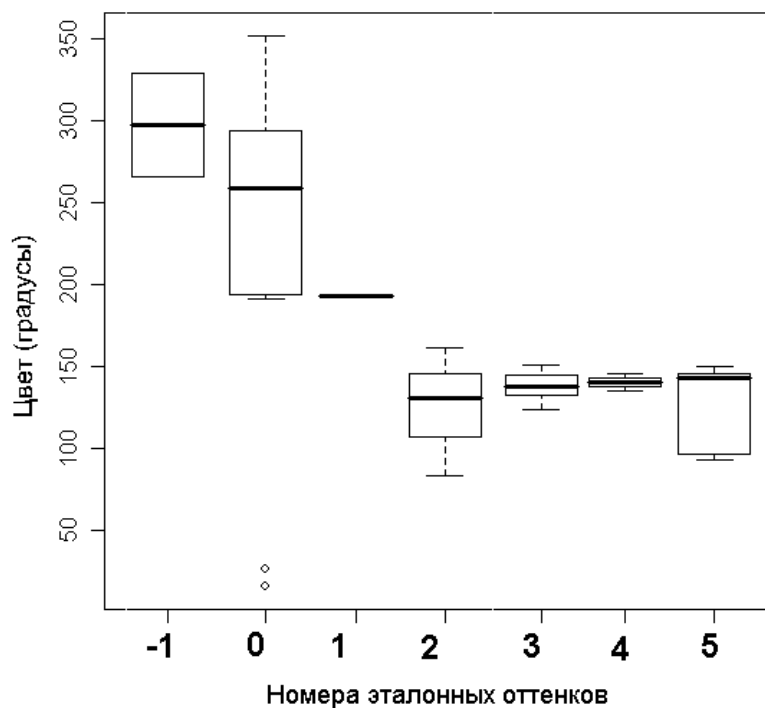
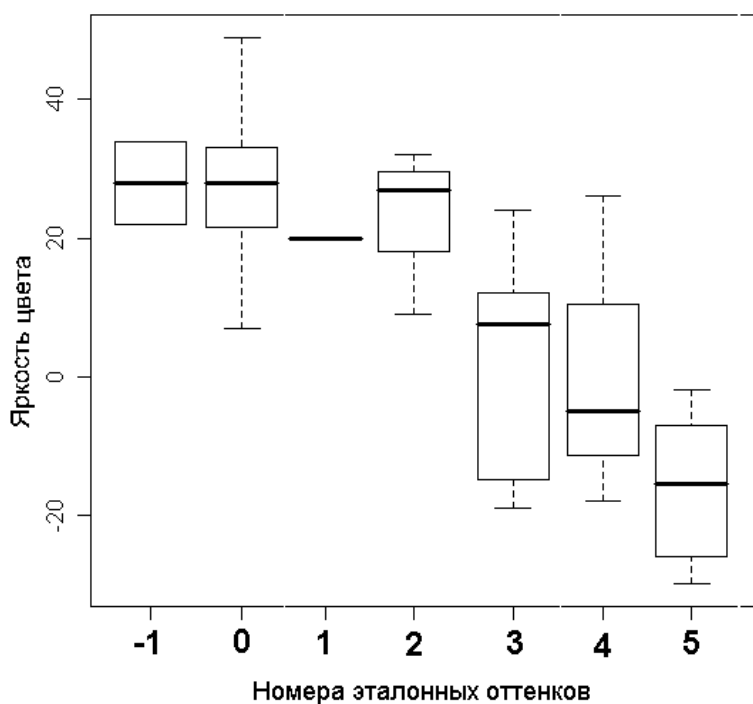


Рисунок 7. Яркость цвета по цветовой палитре Lab в разных оттенках венчика первоцвета (измерено на фотографии). Номера эталонных оттенков соответствуют рис. 1. Для каждого оттенка показана медиана, квартильный размах и абсолютный размах значений.



Обсуждение

Полученные результаты на примере цветков первоцвета обыкновенного демонстрируют умеренное соответствие между двумя основными способами объективного описания цвета биологических объектов – методом сравнения с цветовой шкалой и методом цветových палитр.

Ни один из этих методов не зарекомендовал себя как оптимальный для характеристики цвета венчика примулы. Промеры цветových компонент даже в совокупности не в состоянии уверенно разделить визуально определенные цвета один от другого. Такие явственно различные цвета, как белый, желтый и розовый, не являются исключением. Эталонные оттенки цветовой шкалы также не однозначно соответствуют цветам венчика.

Наше исследование еще раз подчеркивает всю сложность объективного описания разнообразия цвета биологических объектов.

Литература

- Колаковский А.А. Род *Primula* L. // Флора Абхазии. 1985. Т. 3. С. 138-143.
 Лозина-Лозинская А.С. Гетерохромия у бесстебельных первоцветов *Primula acaulis* (L.) Hill. // Изв. АН СССР. Отд. матем. и естеств. наук. 1933. С. 293-307.
 R Development Core Team. 2007. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available from URL: <http://www.R-project.org>.

Благодарности

Мы благодарим Л. Абрамову, Я. Косенко и В. Чаву за помощь на полевом этапе работы.