

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ДИАГНОСТИКИ
ДЛЯ ОБЪЕКТИВНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦВЕТА ПОЧВ

В.И. САВИЧ, В.С. КРУТИЛИНА, Д.Н. ЕГОРОВ, А.Д. КАШАНСКИЙ

(Кафедра почвоведения)

В работе предлагается объективная характеристика цвета профилей почв, образцов и почвенных мазков в полевых дневниках с использованием компьютерной диагностики в Adobe Photoshop в системах CIE-Lab, RGB и СМУК при сканировании цветных фотографий, мазков почв, негативов фотографий с использованием сканера Epson Perfection 2450 и ICC профиля, определение площадей и периметров цветowych пятен с помощью программ MapInfo.

Цвет почвы характеризует ее свойства, процессы и режимы, но визуальная его оценка очень приблизительна. Для более объективной характеристики цветowych параметров почв в почвоведении используют цветовую шкалу Манселла, шкалу РОС-Гипрозема, отражательную способность почв, определяемую в лабораторных условиях экспериментально и получаемую в полевых условиях с использованием методов космической и аэрофотосъемки [2, 6, 7, 9, 13].

Отмечается, что шкала Манселла имеет несколько недостатков. Сравнение цвета почвы с цветом эталонных чипов ограничивается разрением чипов: на результат сравнения влияет различие в освещенности. Эти недостатки уменьшаются, когда вместо визуальной оценки используют компьютер или спектрофотометр [3].

Система CIE-Yxy принята Международной комиссией по освещению в 1931 г. Она создает численно непрерывное цветовое пространство. При этом цветность почв определяется долями условных цветов: красного (x), зеленого (y) и синего (1 - (x + y)). При компьютерной обработке — RGB. Красноцветность почв «x» варьирует от 0,320 до 0,495, величина «зелености» от 0,330 до 0,390 (3,9). Низкая

разрешающая способность системы препятствует ее использованию почвоведцами. Система CIE-Lab также оценивает численно непрерывное цветовое пространство и отражает в декартовых координатах вклад четырех основных цветов (степень красноты, зелености, желтизны и синевы объекта). Согласно взглядам Ю.Н. Водяницкого и Л.Л. Шишова [3] система CIE-Lab, выражаемая в привычных декартовых координатах, позволяет количественно оценить меру влияния разных пигментов на цвет почв и использовать систему для численной классификации почв по цвету.

Разными авторами получены интересные и полезные для теории и практики результаты с использованием указанных цветowych систем. Так, выделение двух основных цветов — красного и желтого дает основу идентификации гетит- и гематитсодержащих почв [3, 4, 5]. При низком содержании углерода в почве (<1%) используется индекс красноцветности $R(\text{Lab}) = a \times (a^2 + b^2)^{1/2} \times 10^{10} / b \times L^6$, где L, a, b — цветowe координаты [16, 17, 18]. Наличие в почве гематита тесно связано с индексом красноцветности $R(\text{Lab}) = 0,54 + 1,97 \text{ Нет}$ [3, 4, 5]. Водяниц-

ким Ю.Н. и Шишовым Л.Л. [3] предлагается видоизменить критерий красноцветности R , исключив из него переменную координату светлоты (L), которая лимитировала применение показателя для достаточно гумусированных почв. Авторы предложили новый параметр красноцветности. $R(ab) = a \times (a^2 + b^2)^{1/2} \times 7b$. Из этого уравнения подсчитывается содержание в почве условно красного пигмента — гематита %: $\text{Нет} = [R(ab) - 0,54] / 1,97$. С использованием данного показателя удалось охарактеризовать почвенные процессы с участием железа — рубефикацию, брүнификацию и некоторые формы оглеения.

Предлагается группировка оглеенных почв по цвету, различающая виридизацию (образование грин раста), оливизацию (обезжелезнение), полиозацию (посерение) и меланизацию (почернение) почв.

К сожалению, указанные методы более объективной оценки цветовых параметров почв не нашли широкого применения в производственных организациях и при характеристике цветовой гаммы почвенных профилей. Это обусловлено сложностью интерпретации цветовых характеристик почв, значительной стоимостью оборудования для инструментальной оценки этих показателей.

В работе предлагается методика объективной характеристики цветовой гаммы почв с использованием компьютерной диагностики цветных изображений. Мы считаем перспективной оценку цветовых характеристик почв как индикатора их свойств и протекающих в почве процессов и режимов. Для оценки цвета почв как индикатора их свойств можно определять количественную оценку площади и конфигурации отдельных цветовых зон, характеристику цвета взятых почвенных образцов и цвета почвенных мазков, выполненных

в полевых условиях. А для оценки цвета почв как индикатора протекающих в них процессов и режимов нами предлагается изучение цветовых характеристик исходных сухих образцов почв, почв разной степени увлажнения, почв, компостируемых в условиях избыточного увлажнения (для оценки буферности в окислительно-восстановительном интервале), цвета образцов после селективного удаления из них железа, прокаливания, оттитровывания окислителями и восстановителями до разных значений Eh ; после сжигания органического вещества почв перекисью водорода. Следует отметить, что в зависимости от цели исследования может быть проведена блокировка различных хромофорных групп почв или их активация [8, 12, 15].

Во время исследований были поставлены следующие задачи:

— выбор программного обеспечения для анализа и идентификации цветовых характеристик почв на персональных компьютерах;

— выявление особенностей методики и техники анализа с целью получения данных, обладающих большим уровнем информации и большой степенью достоверности;

— выявление цветовых характеристик почвенных профилей и их корреляции со свойствами почв;

— выявление варьирования показателей цветовых характеристик для образцов почв и при анализе почвенных мазков, взятых из полевых дневников;

— оценка изменения цветовых характеристик почв в зависимости от степени окультуренности и при применении органических удобрений;

— оценка изменения цветовых характеристик почв при селективной блокировке отдельных хромофорных групп и их активации;

— оценка возможности использования компьютерной диагностики для

цветовых характеристик изображений, получаемых на термоиндикаторных пленках при взаимодействии почв с сорбатами и десорбентами.

Объекты исследования

В качестве основных объектов исследования выбраны подзолистая, дерново-подзолистая и серая лесная почвы. В полевых условиях сфотографировано два профиля торфянисто-подзолистых почв, развитых на территории Приокско-террасного заповедника. Разрез 4 заложен на 4-й террасе р. Оки на плоской вершине бугра под сосновым лесом — брусничником зеленомошником. Горизонт A_d^T идентифицирован как горизонт светло-коричневого цвета, A_1 — коричневого, A_2 — серого, B_1 — грязно-бурого; B_2 — бурого с пятнами грязно-серого и коричневого оттенков, BC — бурого цвета. Почва определена как торфянисто-подзолистая иллювиально-железистая песчаная. Разрез 6 залегает на 4-й террасе реки на пологом северном склоне к болоту под сосновым лесом-черничником, брусничником - с подростом ели, березы и с присутствием в древесном покрове единичных осок и папоротника. В полевых условиях горизонт A_1 идентифицируется как темно-коричневый до черного; A_2 — черный до темно-серого; A_3 — буровато-белесый; B_{ox} — коричнево-охристый с более и менее охристыми пятнами; BC — серовато-бурый, светлее, чем C ; C — серо-бурый. Почва определена как торфянисто-сильноподзолистая иллювиально-железистая песчаная на крупнозернистом песке.

Для получения цветовых характеристик почв по почвенным мазкам проанализировано 5 разрезов серых лесных почв Ярославской обл. [11, 12]. Для анализа цветовых характеристик почв разной степени окультуренности изучены дерново-подзо-

листые среднесуглинистые почвы на покровных суглинках Московской обл. (опыт кафедры растениеводства МСХА) [14].

Методика

Анализ цветовых характеристик почв проводим с помощью:

— цифрового изображения поверхности почвы, почвенного профиля, структурных отделностей, микрон, смешанных образцов, полученных с использованием цифровых фотокамер и видеокамеры;

— фотографий почв, оцифрованных в компьютере с использованием планшетного или слайд-сканера и программы Photoshop;

— мазков почв, взятых в полевых условиях, с микромонокита почв толщиной до 2 мм и закрепленных на клейкую основу образцов почв при использовании планшетного или слайд-сканера. При компьютерном анализе цветового изображения почв использовали программное обеспечение Adobe Photoshop.

Сканирование производили с разрешением 300 dpi, глубиной цвета в 24 бита, отсканированные изображения сохраняли в TIFF-файле. Для отбора информации о цвете в программе Photoshop использовали инструмент «пипетка». В соответствии с принятым разрешением и масштабом брали среднюю пробу из 5 пикселей (опции инструмента «пипетка»). При этом показания для каждой точки снимали в двух цветовых системах: 1) CIE-Lab, независимой от типа сканирующего устройства, калибровки монитора и устройства цветовывода; 2) RGB (CMYK), используемой для изготовления печатной продукции и удобной для зрительного восприятия информации. Использование каждой из систем имеет определенные преимущества и недостатки. В системе CIE-Lab рассчитываются «а» (отношения красного цвета к зеле-

ному) и «Б» (отношение желтого цвета к синему), что дает дополнительную более статистически достоверную характеристику цветовой гаммы почв. В то же время при использовании этой системы возникает сложность в проведении абсолютизации показателей цветových характеристик — интенсивностей красного, желтого, зеленого и синего цветов. Напротив, использование системы RGB (СМΥК) удобно с этой точки зрения.

Для увеличения точности в воспроизведении цвета на компьютере желательно провести предварительную калибровку всех участвующих в обработке изображения устройств (сканера, монитора и принтера) с помощью соответствующего программного обеспечения и вспомогательных материалов. В качестве последних рекомендуется использование цветových мишеней IT 8 Kodak и программ типа Adobe Gamma и Colorific™.

Для идентификации исследуемых почв и объектов целесообразно их сравнить по абсолютным значениям цветových характеристик и с эталонами, представляющими определенный тип, подтип, род, вид, разновидность и разряд почв или изучаемый процесс. При оценке цветových характеристик почв необходимо учитывать, что сочетание красного и синего цветов обуславливает фиолетовый цвет, сочетание желтого и красного — оранжевый, сочетание желтого и синего — зеленый цвет и т.д. Это объясняет наличие необычных по цвету микроразнообразий почвенного профиля. Кроме того, цвет естественных профилей почв в полевых условиях зависит от их влажности, оструктуренности, а при естественном освещении — от длины волны и интенсивности солнечной радиации.

При оценке цветových характеристик тепловых эффектов взаимодействия сорбатов с почвой тепловые эф-

фекты идентифицировали на термоиндикаторных пленках, а затем фиксировали на фотоснимках. Использовали термоиндикаторные пленки ПТ-2, ПТТ-1 Харьковского завода, которые выпускаются для различных температур от 36 до 16°С. В проведенных опытах использовали термопленку ПТ-1 с интервалом измеряемых температур от 18 до 21°С.

Сканирование негативов фотографий осуществляли сканером Epson-Perfection 2450 с использованием ICC профиля при разрешении 2400 dpi с масштабированием 200%. Обработка изображений проводилась в Adobe Photoshop 7.0: применялись кривые для увеличения контраста цветов, а также фильтр «Размытие по Гауссу» для обеспечения более однородных цветových пятен со значениями от 2,6 до 5,4. Пятна, однородные по цвету (температуре), выделяли визуально с помощью инструмента «Magic Wand». Параметр «чувствительность» или «допуск» (tolerance) для каждого цвета и рисунка указан в табл. 10. Значение чувствительности отражает допустимое отклонение в тональности пикселей, которые попадают в выделение по каждому из каналов RGB. Таким образом, чем больший параметр чувствительности был задан для каждого контура, тем менее однородной окраской он обладал. Дальнейшая печать рисунков осуществлялась с разрешением 200 dpi без перевода изображения в СМΥК.

После выделения однородных по цвету контуров на изображение наносили средствами Photoshop масштабную сетку 1x1 см, файл сохраняли с расширением .tiff и загружали как растр в программу MapInfo. После соответствующих манипуляций однородные цветových пятна выделяли как контуры, для которых автоматически рассчитывали площадь и периметр.

**Оценка цветовой характеристики
профиля почв по данным
компьютерной интерпретации
цветных фотографий почвенного
профиля**

Описание морфологических признаков почв в полевых условиях в значительной степени субъективно.

С нашей точки зрения, одним из вариантов увеличения объективности описания профиля почв является его фотографирование в полевых условиях при последующей компьютерной интерпретации полученных данных. При этом более точно может идентифицироваться цвет почв, площадь отдельных горизонтов, размер и форма мезозон и микрозон, а при увеличении — особенности пористого пространства, новообразований и т. д. В табл. 1 представлена цветовая характеристика торфянисто-подзолистых песчаных почв.

Содержание валовых форм Fe, определенное рентгенофлуоресцентным

методом, составило для разреза 6 всего 0,4% и кислоторастворимых форм (десорбция) 5 М HNO₃ : n : P = 1 : 5; 3 часа, t° = 100°C), также 0,4%.

Из представленных также вид-но, что иллювиальные горизонты почв характеризуются более интенсивным красным цветом или большей долей красного цвета. Это соответствует большему содержанию в них водорастворимого железа (горизонт B_{ox} разреза 6 и горизонт B₂ разреза 4) и большему валовому содержанию железа. Для разреза 6 содержание железа коррелирует с отношением интенсивностей цветов R/B и составляет для горизонта A₂ — 1,1, а для горизонта B_{ox} — 1,6-3,3. Однако согласно проведенным исследованиям изучения цветовой характеристики почвенного профиля установлено, что в ряде случаев химические свойства образцов из отдельных горизонтов плохо коррелируют с их цветовой характеристикой. Это связано с тем, что цвет обусловлен верхним

Т а б л и ц а 1

Цветовые характеристики почвенного профиля торфянисто-подзолистых почв

Раз-рез	Горизонт	Цветовые характеристики горизонтов			Содержание Fe			Площадь горизонта S		
		R	G	B	1	2	3	см ²	%Σ	
6	A ₁ 8-13	57	28	23	0,6	3,0		1,0	2,4	
	A ₁ ' 13-24	124	116	125	0,6	6,5	8	5,6	13,3	
	A ₂ 24-49	231	221	0,3	0,03	10	6,5	15,4		
	B _{ox} 49-73	1	223	180	139	1,4	3,0	280	16,6	39,6
		2	177	124	53	2,0				
	BC 73-108	1	166	151	138	0,7	1,5		9,5	22,6
		2	86	56	57					
C > 108		79	44	30	0,9	2,0		2,9	6,7	
4	AoT	52	49	43	0,8	3,0		6,3	13,7	
	A ₁	97	98	74	4,0	4,0	270	8,7	18,9	
	A ₁ A ₂	103	119	132	2,5	2,0	146	13,5	29,4	
	B ₁	220	227	189	0,5	2,5	170	9,1	23,4	
	B ₂	190	148	160	4,0	2,0		4,2		
	BC	70	35	36	1,2	4,5		2,5	5,4	

Примечание. Содержание Fe: 1. в мг/л в водной вытяжке; 2. в вытяжке CH₃COONH₄ в мг/л; 3. в вытяжке 5 н. HNO₃ мг/100 г во фракции < 0,25 мм.

слоем структурных отдельностей, а не всей массы почвы. Элюирование элементов из верхних горизонтов в нижние проходит не фронтально, а по порам, трещинам. При этом в каждом горизонте отмечаются мезо- и микрозоны большего элюирования и большей или меньшей аккумуляции. Это видно на примере горизонтов V_{ox} и BC разреза 6 (табл. 1).

При значительной гумусированности горизонтов цвет окисного или закисного железа, SiO_2 и т.д. затушевывается. При низком содержании гумуса цветовая гамма, обусловленная этими компонентами, хорошо идентифицируется. Это видно по увеличению интенсивности голубого цвета (B) в оглеенном горизонте A_2 разреза 6, в микрозонах слабооглеенных горизонтов BC и V_{ox} этого же разреза, в горизонтах A_1A_2 ; B_5 ; B_2 разреза 4.

Площади отдельных горизонтов почв нагляднее вычислять в процентах от общей площади. Это дает возможность количественно оценить степень развития отдельных элементарных почвообразовательных процессов. Так, в полугидроморфной почве разреза 6 отчетливо видно бблыную площадь горизонта V_{ox} и мёныную степень оподзаливания и развития гумусо- и торфо-накопления по сравнению с разрезом 4.

Таким образом, компьютерная диагностика цветовых характеристик почвенного профиля дает дополнительную информацию о генезисе почв и увеличивает степень объективности оценки цветовой гаммы почвенного профиля.

Для оценки достоверности полученных цветовых характеристик почв мы определяли их в 5 разрезах серых лесных почв по данным анализа почвенных мазков, сделанных в полевых дневниках при крупномасштабном картировании почв.

Оценка цветовой характеристики профилей почв по данным анализа почвенных мазков из полевых дневников описания почв

Большой практический интерес представляет объективная оценка цвета мазков, сделанных в полевых условиях. Для этой цели мы проанализировали цветовую гамму мазков 5 разрезов серых лесных среднесуглинистых почв учхоза «Дружба» Ярославской обл., развитых на среднесуглинистых лессовидных отложениях. По полевым описаниям цвет A_{II} был серый, горизонта A_2B — светло-коричневато-серый, горизонта B — от коричневого до светло-коричневого. По альбому Манселла изучаемые горизонты почв характеризовались цветовой гаммой, приведенной в табл. 2.

Разрез 5, представленный серой лесной оподзоленной почвой со вторым гумусовым горизонтом имел следующие цветовые характеристики: A_{II} - 7,5YR - 6 6; A_1 — 7,5YR - 7 - 2; A_{II} - 7,5YR - 6 - 2; A_{h2} - 7,5YR - 5 - 2; A_2B - 7,5YR - 5 - 4; B_1 - 7,5YR - 6 6; B_2 - 7,5YR - 6 - 6; BC - 7,5YR - 6 - 4.

Хотя оценка цвета почв по альбому Манселла и является более точной, чем визуальная оценка в полевых условиях, она в определенной степени субъективна. Полученные нами данные о цветовой характеристике мазков почв с использованием компьютерной диагностики приведены в качестве примера для разрезов 1 и 3 в табл. 3.

На разрезе 1 в цветовой модели CIE-Lab наименьшая светлота характерна для горизонта A_2B , а наибольшая для горизонта C . Горизонт C характеризуется максимальным отношением красного цвета к зеленому и желтого к синему при минимальных значениях этих показателей для горизонта A_{II} - A_1 При этом

**Цветовая характеристика почвенного профиля серых лесных почв
по шкале Манселла, балл**

Горизонт	Н	V	С	Н	V	С
Разрез 1			Разрез 3			
A ₁	2,5Y	6	2	7,5YR	6	4 (3)
A ₁ A ₂	7,5YR	6	2	7,5YR	5	4
A ₂ B	7,5YR	5	6	7,5YR	6	4
B ₁	7,5YR	5	5	7,5YR	5	6
B ₂	7,5YR	5	5	7,5YR	5	6
BC	7,5YR	5	5	7,5YR	6	6
Разрез 4			Разрез 6			
A _n	10YR	7	3	10YR	5	3
A ₁				10YR	5	2
A ₂ B	10YR	6	2	10YR	6	2
B ₁	7,5YR	6	4	7,5YR	5	4
B ₂	7,5YR	5	4	7,5YR	6	6
BC	7,5YR	6	6	7,5YR	5	4

П р и м е ч а н и е. Н — тон по шкале Манселла; V — светлота; С — насыщенность.

наблюдаемые различия статистически достоверны. В цветовой модели СМУК наибольшая интенсивность черного цвета и циана характерна для верхних горизонтов и меньшая — для породы. В то же время большая интенсивность желтого и пурпурного цвета наблюдается в мазках из горизонтов В, ВС и С.

Таким образом, полученные материалы свидетельствуют об объективной оценке цветовой гаммы мазков почв, сделанных в полевых условиях с использованием компьютерной диагностики, о статистически достоверном различии полученных материалов для отдельных горизонтов почв при 5-кратной повторности.

С практической точки зрения важна оценка достоверных различий в цветовой характеристике для отдельных горизонтов почв определенного типа, подтипа, рода, вида, разновидности и разряда. Полученные нами данные приведены в табл. 4.

Как видно из представленных данных, отдельные горизонты серых лесных почв с учетом варьирования

своих свойств почв в пространстве (при анализе разных разрезов) достоверно отличаются по цветовой гамме отдельных горизонтов. Отчетливо проявляется увеличение параметров «L», «a», «b» в горизонте С и в нижних горизонтах, уменьшение параметра «L» в горизонте А₂В. Интенсивность цвета циан и черного выше в А_n и А₁, а пурпурного цвета — в горизонте В₁ и В₂, желтого цвета — в горизонтах В, ВС и С. Перспективна оценка степени усиления отдельных цветов в горизонтах по сравнению с породой или степени ослабления этих цветов.

Отношение цветов также является объективной характеристикой цветовой гаммы отдельных горизонтов и профилей почв. Полученные нами данные приведены в табл. 5.

Таким образом, отношения интенсивностей отдельных цветов почв варьируют в значительно меньшей степени, чем интенсивности цветов. При этом для почв разного генезиса характерными будут и свои отношения цветов. Для серых лесных почв характерными оказались отношения

Определение цвета мазков серых лесных почв методом компьютерной диагностики ($n = 5$; $x \pm m$)

Гори- зонт	Цветовая модель			Цветовая модель			
	L	a	b	C	M	Y	K
Разрез 1							
A ₁	52,6±0,4	5,4±0,2	16,0±0,2	37,2±0,4	43,2±0,4	53,8±0,5	21,6±0,5
A ₁ A ₂	53,6±0,2	9,4±0,2	21,4±0,2	31,4±0,4	45,4±0,2	58,6±0,4	20,6±0,4
A ₂ B	47,8±0,4	11,4±0,4	22,0±0,3	32,2±0,4	50,6±0,4	63,0±0,4	27,4±0,5
B ₁	48,2±0,6	11,6±0,2	22,8±0,4	31,4±0,6	50,8±0,2	63,8±0,2	27,0±1,0
B ₂	51,6±0,8	11,6±0,4	24,2±0,5	29,2±0,6	48,4±0,8	62,6±0,2	21,6±0,5
Разрез 3							
A _п A ₁	50,6±0,1	6,5±0,3	17,6±0,5	36,6±0,7	45,1±0,9	56,7±1,2	24,0±1,5
A ₁ A ₂	51,3±2,7	7,4±1,0	18,5±1,6	35,3±2,5	45,3±2,5	57,6±1,2	23,3±3,1
A ₂ B	49,0±0,7	8,7±1,2	19,4±1,2	34,8±1,2	47,6±1,3	59,6±1,6	25,6±0,9
B ₁	50,3±1,6	11,3±0,6	22,8±0,3	30,6±0,8	49,1±1,3	61,4±1,7	23,6±2,2
B ₂	51,7±0,9	11,0±0,6	23,8±0,7	31,1±1,6	50,6±1,5	62,6±0,9	22,6±1,2
BC	52,4±1,3	11,8±0,9	24,1±0,7	28,8±0,2	48,8±0,9	61,9±1,1	22,2±1,3
C	57,0	13,2	28,0	24,2	46,8	62,0	17,6

П р и м е ч а н и е. Здесь и далее: а — отношение красного цвета к зеленому; b — отношение желтого цвета к синему; C — голубой (циан cyan); M — пурпурный (magenta); Y — желтый (yellow); K — черный (black).

Т а б л и ц а 4

Определение цвета мазков серых лесных почв методом компьютерной диагностики (средняя для 4 разрезов)

Гори- зонт	Цветовая модель			Цветовая модель			
	L	a	b	C	M	Y	K
A _п A ₁	50,6±0,1	6,5±0,3	17,6±0,5	36,6±0,7	45,1±0,9	56,7±1,2	24,0±1,5
A ₁ A ₂	51,3±2,7	7,4±1,0	18,5±1,6	35,3±2,5	45,3±2,5	57,6±1,2	23,3±3,1
A ₂ B	49,0±0,7	8,7±1,2	19,4±1,2	34,8±1,2	47,6±1,3	59,6±1,6	25,6±0,9
B ₁	50,3±1,6	11,3±0,6	22,8±0,3	30,6±0,8	49,1±1,3	61,4±1,7	23,6±2,2
B ₂	51,7±0,9	11,0±0,6	23,8±0,7	31,1±1,6	50,6±1,5	62,6±0,9	22,6±1,2
BC	52,4±1,3	11,8±0,9	24,1±0,7	28,8±0,2	48,8±0,9	61,9±1,1	22,2±1,3
C	57,0	13,2	28,0	24,2	46,8	62,0	17,6

голубого и пурпурного цветов, голубого и желтого (значительно возрастающие в гумусовых горизонтах). Однако отношения интенсивности цветов пурпурного к желтому оказались постоянными.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют и о достоверном отличии цветовых характеристик почв, полученных с использованием компьютерной диагностики для определенных таксономических единиц почв. Очевидно, целесообразно

проводить сравнение цветовых гамм образцов исследуемых почв с цветовыми характеристиками стандартных образцов ЦИНАО, на которые есть ГОСТ по химической характеристике.

Оценка цветовой характеристики почв разной степени окультуренности и удобрённости

Цветовая характеристика почв является объективным критерием степени окультуривания почв, про-

Таблица 5

**Отношение цветовых характеристик
в отдельных горизонтах серых лесных
почв ($x \pm m$)**

Гори- зонт	С : М	С : Y	М : Y
A _{пах}	0,8±0,02	0,64±0,01	0,80±0,01
A ₁	0,8,±0,02	0,66±0,02	0,80±0,01
Ah ₁	0,84	0,68	0,81
Ahh ₂	0,94	0,80	0,85
A ₁ A ₂	0,74±0,05	0,58±0,05	0,78±0,01
A ₂ B	0,73±0,04	0,58±0,03	0,79±0,01
B ₁	0,62±0,02	0,49±0,02	0,79±0,01
B ₂	0,61±0,02	0,49±0,03	0,80±0,03
BC	0,61±0,03	0,48±0,03	0,79±0,01
C	0,52	0,46	0,80

текающих в почвах процессов. Для оценки степени окультуренности почв по цвету нами проведена компьютерная диагностика цветовой характеристики почв учхоза «Михайловское». Для анализа взяты дерново-подзолистая среднесуглинистая почва плохо окультуренная (OK₁), среднеокультуренная без внесения удобрений (OK₂-1) и с внесением удобрений (OK₂-2), хорошо окультуренная без внесения удобрений (OK₃-1) и с внесением в течение 37 лет удобрений (OK₃-2) при внесении в них соломы озимой пшеницы (30 г на 100 г почвы и компостировании в условиях оптимального увлажнения в течение 1 мес) [14]. Полученные данные приведены в табл. 6.

Как видно из представленных данных, хорошо окультуренные почвы по сравнению со слабоокультуренными имеют большую интенсивность черного (К) и пурпурного (М) цветов, но меньшую интенсивность голубого цвета (С), недостоверно отличаются по интенсивности желтого цвета (Y). Хорошо окультуренные почвы после взаимодействия с соломой пшеницы имели меньшую интенсивность красного (R), зеленого (G) и синего (B) цветов. По сравнению с плохо окультуренными вариантами дополнительную информацию дает соотношение цветов почв, приведенное в табл. 7.

Как видно из представленных данных, с увеличением степени окультуренности в вариантах опыта увеличивается отношение R/G и уменьшается отношение G/B и C/K, C/M. Повышенное содержание водорастворимого железа увеличивает интенсивность красного (R) и желтого (Y) цветов. Оглеение почв в ряде случаев коррелирует с отношением Fe/Mn, так как Fe³⁺ восстанавливается в Fe²⁺ при Eh = 220 мВ, а Mn⁴⁺ в Mn²⁺ при Eh = 400 мВ [11]. Однако по полученным нами данным, только высокое содержание водорастворимого железа 8,4 мг/л; 7,2 мг/л в вариантах OK₁-1 и OK₂-1 коррелирует с интенсивностью красного цвета (R).

Очевидно, что соединения железа в почве могут находиться в раз-

Таблица 6

Закономерность изменения цвета дерново-подзолистых почв разной степени окультуренности и удобрённости ($x = 5$)

Окультурен- ность и удоб- ренность	Параметр, характеризующий цвет почв						
	R	G	B	C	M	Y	K
OK ₁	123,8	97,2	64,2	35,6	50,0	68,8	34,2
OK ₂ -1	126,2	96,2	67,6	35,2	51,2	65,4	33,8
OK ₂ -2	114,8	83,4	57,4	35,8	54,8	68,0	40,6
OK ₃ -1	118,4	86,0	60,8	35,2	55,0	67,2	38,6
OK ₃ -2	113,4	78,8	55,6	34,4	57,6	68,4	42,0

**Соотношение цветовых характеристик дерново-подзолистых почв
разной степени окультуренности и удобренности при внесении
в них соломы пшеницы и компостировании 30 дней**

Окульту- ренность и удобрен- ность	Параметр, характеризующий цвет почв						
	R : G	G : B	C : K	C : M	Mn ⁺⁺ мг/л	Fe* мг/л	Fe*/Mn ⁺⁺
OK ₁	1,27	1,51	1,0	0,71	4,9	8,4	1,7
OK ₂ -1	1,31	1,42	1,0	0,69	3,6	7,2	2,0
OK ₂ -2	1,38	1,45	0,9	0,65	3,8	—	—
OK ₃ -1	1,38	1,41	0,9	0,64	3,2	6,5	2,1
OK ₃ -2	1,44	1,42	0,8	0,59	0,8	5,6	7,2

П р и м е ч а н и е. R — красный; G — зеленый; B — синий; * — водорастворимые Fe, Mn.

личной форме. Комплексные соединения железа могут быть в значительной степени подвижны, но не обладают окраской красноватых тонов. Аналогично и переход соединений Fe³⁺ в Fe²⁺, сопровождающийся изменением цвета от красно-бурого к сине-сизому или голубоватому, характерен только для ионных форм железа и не отмечается для гумусированных горизонтов и закомплексованных форм Fe. Достаточно часто встречаются условия, когда содержание подвижных форм железа в гумусовых горизонтах выше, Eh ниже, а более сизый цвет характерен для минеральных горизонтов с более высокими значениями окислительно-восстановительного потенциала. Это обусловлено тем, что комплексные соединения железа восстанавливаются при более низких значениях Eh, чем ионные формы [11]. В проведенных нами исследованиях на серых лесных почвах выявилась связь визуально определяемого цвета почв с содержанием в них подвижных форм соединений железа. По полученным данным, влияние проявления оглеения не всегда соответствовало расширению отношения водорастворимых и подвижных Fe:Mn и более низким значениям Eh почв. С одной стороны, это обусловлено тем,

что величина Eh определяется не только отношением Fe³⁺/Fe²⁺, и следовательно, подвижностью железа, но и величиной Eo для этой пары, которая зависит от степени закомплексованности ионов железа. С другой стороны, это связано с тем, что изменения цвета почв более консервативная величина по сравнению с изменением подвижности Fe и изменением Eh среды. В то же время для отдельных горизонтов связь Eh и подвижности железа прослеживалась достаточно четко, что иллюстрируют данные табл. 8, 9.

Как видно из представленных данных, содержание подвижных соединений железа, растворимых в восстановительных условиях, выше в почвах нижней трети склона. Оно было несколько больше в горизонтах, где в полевых условиях анаэробные

Т а б л и ц а 8

**Связь подвижности железа и марганца,
мг на 100 г в вытяжках в серых
лесных почвах со степенью их
окисленности (горизонт Ap)**

Eh, мВ по ХСЭ	Ион	H ₂ O	Тамма	NH ₂ OH
295	Fe	2,1	48,3	10,7
	Mn	0,1	6,5	9,9
400	Fe	0,1	36,7	3,8
	Mn	0,2	5,4	9,1

Изменение содержания растворимых в восстановительных условиях соединений Fe, Mn в профиле серых лесных почв, мг/100 г

Элемент рельефа	Горизонт	Fe	Mn	Fe: Mn
Верх склона	Ап	5,2±2,3	20,7 ±0,4	0,2
	В	12,0±2,6	20,5±0,3	0,6
Середина склона	Ап	1,3±0,8	20,5±0,6	0,1
	В	18,3±5,0	20,2 ±0,9	0,9
Низ склона	Ап	56,4±24,0	20,9±0,8	2,7
	В	5,7±2,2	20,9±0,1	0,3

условия выражены ярче (ниже Е_h почв) — в горизонте В по сравнению с А_п в середине склона и в горизонте А_п по сравнению с В нижней трети склона. Однако увеличение содержания подвижного железа не коррелировало с внешним проявлением оглеения.

Таким образом, цвет почв в определенной степени связан с содержанием в них отдельных элементов и соединений, однако эта связь не всегда простая и для идентификации свойств почв по их цвету необходимы дополнительные исследования. Мы считаем, что вариантом таких исследований является оценка изменений цвета почв при их окислении, восстановлении, при сорбции и десорбции отдельных соединений, при селективной блокировке цвета отдельных хроматофорных групп или при селективном окрашивании отдельных ионов.

В проведенных нами исследованиях выявилась значительная информативность цветовой характеристики тепловых эффектов взаимодействия сорбатов с почвами [10].

Оценка цветовой характеристики тепловых эффектов взаимодействия сорбатов с почвой

Одним из возможных вариантов изучения свойств почв является оценка изменения цвета почв при взаимодействии сорбатов с почвой.

Такая методика предлагалась для оценки содержания закисного железа в почвах при опрыскивании их профиля а, □-дипиридиллом, K₃[Fe(CN)₆], K₄[Fe(CN)₆] [8]; для определения содержания ряда элементов в шлифах минералов и пород [15]. Оценка содержания и состояния ряда элементов на поверхности почв, отдельных горизонтов, микрозон, структурных отдельностей проводили как с использованием методов химической автографии на основе электролиза и ионитовых мембран, так и при обработке поверхности селективными реагентами, дающими окрашенные соединения с рядом элементов [12]. К таким реагентам, в частности, относятся и различные индикаторы окислительно-восстановительного и кислотно-основного состояния почв и т.д.

Предлагается оценка теплового эффекта реакций взаимодействия удобрений и мелиорантов с почвой, идентифицируемого по цвету с использованием термоиндикаторной пленки. Показано, что тепловой эффект реакции сорбата с почвой пропорционален их химическому средству, что дает возможность использовать данный показатель для качественной оценки обеспеченности почв элементами питания и определения необходимости внесения мелиорантов [10].

Для оценки тепловых эффектов взаимодействия почв с сорбатами использовали термоиндикаторные пленки Харьковского завода, которые выпускаются для различных температур от 36 до 16°C. В проведенных опытах использовали термопленку ПТ-1 с интервалом измеряемых температур от 18 до 21°C. При этом синий цвет пленки соответствовал 21°C, зеленый — 20°C, желтый — 19°C, красно-коричневый — 18°C [10]. Для оценки тепловых эффектов взаимодействия сорбатов с почвой измеряли диаметр окружностей разного цвета вокруг зоны внесения в почву сорбата и тепловой эффект реакции в ккал/г почвы. По полученным данным при взаимодействии почв с KN_2PO_4 диаметр изменения цвета термопленки составил для горизонтов Ап бурой песчаной почвы 3,2 см, чернозема легкосуглинистого 3,7 см, для чернозема тяжелосуглинистого 5,2 см. При этом пятно красно-коричневой окраски в бурой почве отсутствовало, в черноземе легко- и тяжелосуглинистом составило соответственно 0,7 и 1,0 см. Это коррелировало с тепловым эффектом реакции: 3,3; 3,6 и 8,7 ккал/1 г рассматриваемых почв соответственно [10]. Существенные отличия наблюдались при взаимодействии других почв с KN_2PO_4 . В частности, диаметр пятна изменения цвета почвы в результате сорбции фосфатов составлял в бурой песчаной почве 3,2 см²; в рендзине — 3,8, а в глинистой вертисоли — 5,7. При этом в бурой почве и в рендзине идентифицированы пятна желтого цвета 1,2 и 1,8 см², а в вертисоли коричневого цвета площадью 1,2 см². Это соответствовало тепловому эффекту реакций взаимодействия почв с KN_2PO_4 в ккал/г почвы, составляющему для исследуемых почв соответственно 3,3; 11,7 и 9,1 ккал/1 г почвы. Однако определение тепловых эффектов реакций

указанным способом является полуколичественным. Для уточнения расчетов нами предлагается компьютерная интерпретация получаемых цветовых характеристик с определением интенсивности отдельных цветов, их отношения и площадей определенного цвета.

В табл. 10 приведены данные об изменении цвета термоиндикаторных пленок, приложенных к поверхности почвы при взаимодействии почв с гидроксиламином.

При оценке теплового эффекта взаимодействия почв с гидроксиламином для установления степени окисленности почв оптимальным оказался вариант с внесением на поверхность 5 г почвы, просеянной через сито 0,25 мм и распределенной на стекле 10x10 см, навески гидроксиламина 0,1 г и 1 мл H_2O при времени реакции до фотографирования цветового эффекта 1 мин.

Как видно из полученных данных, компьютерная расшифровка гаммы цветовых эффектов, возникающих при взаимодействии почв с сорбатом (в данном случае с гидроксиламином), дает большую информацию, чем визуальный анализ фотографий тепловых эффектов [10]. В визуальном выделяемом пятне определенного цвета можно идентифицировать несколько цветов различной степени интенсивности. Компьютерная оценка площади и периметра пятен также более точна, чем визуальная. Оценка цветовой характеристики можно проводить при разной чувствительности выделения цвета. Однако чем больше параметр чувствительности, тем менее однородна окраска выделяемого контура. Идентификация цветовых характеристик тепловых эффектов на разном удалении от зоны внесения сорбата позволяет оценить гомогенность почв, наличие мезо- и микрозон с определенными сорбционными свойствами,

**Тепловой эффект взаимодействия гидроксилamina с серыми лесными почвами,
идентифицируемый по цвету термоиндикаторных пленок**

Цвет	Чувствительность выделения цвета	Значения R-G-B	Площадь цветового пятна, см ²	Периметр пятен, см
Почва серая лесная смытая				
Темно-красное пятно в центре	60	17-8-7	2,6	6,3
Красное пятно	60	166-30-5	4,1	21,4
Темно-оранжевый круг	40	200-94-7	11,5	35,1
Желтый полукруг	50	219-196-31	12,7	27,6
Зеленый полукруг	60	36-198-124	25,4	48,9
Голубовато-зеленый полукруг	35	61-128-124	13,5	27,3
Голубое пятно	40	18-162-173	6,4	22,1
Ярко-синие пятна	60	7-33-139	15,0	41,7
Почва серая лесная смытая компостированная в условиях избыточного увлажнения				
Темно-красное пятно в центре	60	25-8-7	9,6	23,3
Красное пятно	45	151-37-8	12,6	29,2
Оранжевый	60	221-93-12	9,7	32,2
Желтый	40	227-230-23	20,3	24,3
Зеленый полукруг	60	48-175-35	36,7	73,7
Ярко-синие пятна	60	11-18-132	17,0	24,3

а также буферную емкость почв по отношению к исследуемому сорбату. По полученным данным почва, компостированная в условиях избыточного увлажнения, характеризовалась большим тепловым эффектом ее взаимодействия с NH_2OH .

Выводы

1. Для объективной оценки цветовых характеристик почв предлагается методика компьютерной диагностики цифровой индикации цвета почв.

2. По полученным данным соотношение параметров цветовых характеристик почв варьирует в меньшей степени, чем сами параметры.

3. Цветовая характеристика образцов почв при 5-кратной повторности измерений, полученная с использованием предлагаемой методики, статистически достоверно отражает различия образцов отдельных горизонтов почвенного профиля. Цветовая характеристика мазков почв, полученных в полевых условиях при 5-кратной повторности измерений

статистически достоверно отражает отличие отдельных горизонтов почвенного профиля и разрезов определенных типов, подтипов, родов, но разных видов и разновидностей почв.

4. Цветовая характеристика почвенного профиля характеризует свойства почв и протекающие почвообразовательные процессы, площади и контуры цветовых зон характеризуют интенсивность протекающих процессов и гетерогенность буферных свойств почв по отношению к ним.

5. Цветовая характеристика почв отражает свойства почв и протекающие в них процессы преимущественно на поверхности образца и не всегда соответствует анализам, полученным для всей массы образца.

6. Удаление отдельных хроматофорных групп ионов и соединений из почвы за счет их сжигания, окисления, селективной десорбции позволяет по цветовой характеристике оценить количество компонентов, обуславливающих первоначальный цвет почвы.

7. Поглощение почвами фосфатов, извести, гипса, воды, водорастворимых органических веществ, реакция почв с окислителями и восстановителями сопровождается тепловыми эффектами, которые могут быть идентифицированы по цвету с использованием термоиндикаторных пленок. Изучение цветовых характеристик и площадей цветочных зон, проведенное методом компьютерной диагностики, позволяет количественно оценить селективность почв к исследуемым сорбатам, что коррелирует с недостатком или избытком изучаемых подвижных элементов и буферными свойствами почв.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Амергужин Х.А.* Агрэкологическая характеристика почв Северного Казахстана. М. Почв, ин-т им. В.В. Докучаева, 2004. — 2. *Ахо А., Сулее М.* Полевой фотометр для измерения спектральных коэффициентов яркости показателей поверхности. — Тез. док. XI Всес. Сов. по актинометрии. 4.2. Приборы и методы наблюдений. Таллин, 5-15 дек. 1980. — 3. *Водяницкий Ю.Н., Шишов Л.Л.* Изучение некоторых почвенных процессов по цвету почв. М. Почв, ин-т им. В.В. Докучаева, 2004. — 4. *Водяницкий Ю.Н.* Образование оксидов железа в почвах. М. Почв, ин-т им. В.В. Докучаева. 1992. — 5. *Водяницкий Ю.Н.* Химия и минералогия почвенного железа. М. Почв, ин-т им. В.В. Докучаева. — 6. *Вольвач В.В., Конов А.Ф., Попов В.В.* Биометрический фотометр для сети агрометеорологических станций. — Тр. ВНИИСХМ, 1991, вып. 27, с. 125-130. — 7. *Гуревич М.М.* Цвет и его

измерение. М.: Изд. АН СССР, 1950. —

8. *Дмитриев Е.А., Биндюков В.Г.* Хемографическое изучение распределения закисного железа в почвах. Вестник МГУ. — Почвоведение, 1981, л. 4, с. 19-25. — 9. *Карманов И.И.* Спектральная отражательная способность почв и цвет почв как показатели их свойств. М.: Колос, 1974. — 10. *Савич В.И., Хусейн Х.А., Амергужин Х.А., Садуакасов Н.М.* Оценка сорбционных свойств почв на основе тепловых эффектов реакций взаимодействия сорбатов с почвой. — Изв. ТСХА, 1998, вып. 4, с. 70-77. — 11. *Савич В.И., Кауричев И.С., Шишов Л.Л. и др.* Окислительно-восстановительные процессы в почвах, агрономическая оценка и регулирование. Костанай, 1999. — 12. *Савич В.И., Сычев В.Г., Трубицина Е.В.* Химическая автография системы почва — растение. М.: ЦИНАО, 2001. — 13. *Чудитский А.Д.* Возможный способ определения биомассы дистанционным путем. Научно-техн. бюл. по агрономической физике. Агрофизического НИИ. ВАСХНИЛ, 1979 г., № 37, с. 14-18. — 14. *Шатилов И.С., Замараев А.Г., Чаповская Г.В.* Программирование урожая и воспроизводство плодородия дерново-подзолистой почвы. — Вестник с.-х. науки, 1985, л. 12, с. 21-30. — 15. *Энерглин У., Брили Л.* Аналитическая геохимия. Л.: Недра, 1975. — 16. *Torrent J., Schwertmann U., Fechter H., Alfredas F.* — Soil Sei, 1983, vol. 136, pp. 354-358. — 17. *Torrent J., Schwertmann U.* — J. Sedimen Petrol, 1987, vol. 57, № 4, pp. 682-686. — 18. *Torrent J., Barron V.* — Encyclopedia of Surface and Collond Science. Manel Dehher, 2002, pp. 1438-1446.

*Статья поступила
17 мая 2004 г.*

SUMMARY

Objective characteristic of colour of soils profile, samples and soil smears in field diaries with the use of computer diagnosis in Adobe Photoshop in systems CIE-Lab, RGB and CMYK with scanning coloured photographs, soil smears, negatives of photographs with the use scanner EpsonPerfection 2450 and ICC profile, determining areas and perimeters of colour spots with the help of MapInfo program.