



## ОЦЕНКА ГУМУСИРОВАННОСТИ ПОЧВ ПУТЕМ ОБРАБОТКИ ИХ ЦИФРОВЫХ ФОТОИЗОБРАЖЕНИЙ

**С.Ю. Булыгин**<sup>1</sup>

**Д.И. Бидолах**<sup>2</sup>

**Ф.Н. Лисецкий**<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Белгородская государственная сельскохозяйственная академия, Россия  
308503, Белгородская область,  
Белгородский район, п. Майский,  
ул. Вавилова, 1

E-mail: s.bulygin@rambler.ru

<sup>2</sup> Бережанский агротехнический институт Национального университета биоресурсов и природопользования Украины, Украина  
47501, Тернопольская обл., г. Бережаны,  
ул. Академическая, 20

E-mail: office@bati.ber.te.ua

<sup>3</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 308015,  
г. Белгород, ул. Победы, 85

E-mail: liset@bsu.edu.ru

Предложена методика экспресс-анализа гумусированности почв, основанная на сравнении окраски (цвета) почвы с эталонными образцами с помощью цифровой фотокамеры и компьютерной программы. Представлены результаты калибровочных работ и описан оригинальный принцип действия программы Land damage expert, предназначенной для обработки результатов фотосъемки.

Ключевые слова: гумус, окраска почв, цифровая камера, цифровая фотография, компьютерный экспресс-анализ.

### Введение

Одним из наиболее важных морфологических признаков почвы является ее окраска (цвет). Цвет почвы используют для выявления диагностических (типобразующих) горизонтов, что важно для классификации почв, и он позволяет судить о наличии и количестве веществ в почвенной массе.

Известно, что цвет почв зависит не только от химического состава [1], в частности от гумусированности [2], но и физических свойств. Примечательно, что при рассмотрении широкого зонального ряда почв (от дерново-подзолистых до темно-каштановых) [3], выявлена тесная корреляционная связь содержания гумуса в верхнем слое почвы и коэффициента микроагрегированности.

Человеческое восприятие цвета зависит от физиологических особенностей глаз, накопленного опыта, окружающей обстановки и особенностей обработки нервных импульсов в головном мозге. Поэтому возникает субъективный, психологический аспект восприятия цвета и его оценка колеблется между несколькими наблюдателями [4]. Субъективизм визуального определения цвета почв в полевых условиях (при разной освещенности, влажности почвы и др.) частично преодолевается путем применения эталонных шкал. Стандарт цветowych таблиц, например шкала Манселла (Munsell Color Companion, 1994), разработан на основе трех критериев (измеряемых величин), определяющих окраску почвы (тона, интенсивности и оттенка).

Перспективным направлением исследований, направленных на поиск связи цвета почв с их свойствами, может считаться дистанционное зондирование земной поверхности [5]. Тем не менее, несмотря на преимущества аэрокосмических методов [6], их широкое использование для определения гумусированности почв ограничено погодными условиями и экранированием почвы растительным покровом [7]. Это создает необходимость использования портативного прибора, с помощью которого можно было бы определить спектральные характеристики почв в полевых условиях даже при условии покрытия почвы растительностью.

По цвету почв возможно определение содержания гумуса с использованием



спектрофотометрических методов [8, 9, 10]. Но спектрофотометры не приобрели широкого использования в практике ввиду их высокой стоимости и неудобности применения в полевых условиях [11]. Именно поэтому, внимание исследователей все более обращается к более практичным приборам, например к цифровым фотоаппаратам [12]. Современные цифровые фотоаппараты можно рассматривать как новый полевой прибор, который дает возможность проводить оперативный анализ цвета почв с использованием количественных характеристик [13].

Цель статьи состояла в разработке методики определения содержания гумуса в почве с использованием результатов цифровой фотосъемки. Задачами исследований определены:

- разработка методики отбора и подготовки почвенных образцов для фотографирования;
- разработка регламентов технологии фотографирования почвенных образцов фотоаппаратом;
- создание алгоритма интерпретации полученных результатов и определения содержания гумуса в почве с помощью компьютерной программы.

### Методы исследования

При разработке любой методики исследований нужно определиться с такими составляющими, как: «нулевая точка» или эталонный образец; сенсор или измерительный блок; блок обработки, преобразования и индикации результатов. В качестве эталона для определения баланса цвета почвы можно использовать стандартный лист бумаги белого цвета для офисной техники (80 г/м<sup>2</sup>, белизна 80%) в виду того, что в компьютерной программе цвет определяют, исходя из комбинации трех составляющих: красной (*R*), зеленой (*G*) и синей (*B*), а комбинация максимальных значений *RGB* составляет белый цвет. В случае использования эталонных образцов иных цветов возможно возникновение ошибок, связанных с недостаточностью или частотной неравномерностью освещения образца, а также ошибками цифрового фотоаппарата. Съемку проводили фотоаппаратом Olympus C350 (максимальный размер снимка достигает 2048×1536 пикселей).

Эмпирическую основу исследования составили 200 почвенных образцов, в каждом из которых определено содержание гумуса по стандартной методике [14]. Для фотографирования почвенные образцы высушивали до воздушно-сухого состояния и просеивали через сито с диаметром ячеек 1 мм.

В целях определения зависимости цвета почвы от содержания гумуса проводили калибровочные исследования, для осуществления которых было спроектировано и изготовлено специальное лабораторное оборудование. В полевых условиях освещение почвенного образца это изменчивая величина, зависящая от погодных условий, местоположения и времени измерений. В этой связи был организован комплекс исследований для определения зависимости интенсивности цвета почв и эталонного образца от интенсивности освещения. Эксперименты проводили в закрытом помещении с искусственным и регулируемым освещением. Для воссоздания природного освещения образцов почвы использовали электрические лампы накаливания общего назначения (Б 230-240-75), которые подключали к лабораторному трансформатору, с помощью которого изменяли их световой поток и частотный спектр облучения. Искусственное освещение образцов лампами изменяли в пределах от 0 до 50–60 лк. Также во время съемок использовали вспышку фотоаппарата Olympus C350. Фотоаппарат на штативе устанавливали таким образом, чтобы образец не оказался в тени от штатива или иных преград. Расстояние между почвенным образцом и объективом фотоаппарата составляло 60 см.

Фотографирование опытного образца почвы и эталона проводили на одном снимке, поскольку при их отдельной съемке фотоаппарат в автоматическом режиме совершает коррекцию, вследствие чего теряется воспроизведение результатов измерений. Поэтому для проведения съемки почвенные образцы в бюксах размещали на листе белой бумаги.



При проведении калибровочных исследований экспериментально было установлено, что фотографирование образцов можно проводить только в том случае, когда интенсивность составляющих RGB эталона превышает 180 единиц. При этом разница между составляющими цвета (по каналам RGB) не должна превышать 10%. Такое освещение образца достигалось при использовании вспышки фотоаппарата независимо от светового потока ламп накаливания, что можно объяснить функцией автоматической настройки фотоаппарата «баланс белого», которая при использовании вспышки определялась однозначно.

Известно, что цифровой фотоаппарат способен автоматически проводить коррекцию полученных данных, исходя из расстояния до объекта, баланса его цветов, контрастности и др. Не у всех существующих цифровых фотоаппаратов имеется возможность установки всех параметров съемки в ручном режиме, к тому же возникают дополнительные требования к квалификации исполнителя. Поэтому методику разрабатывали, считая, что фотоаппарат работает в автоматическом режиме.

### Результаты и их обсуждение

Обработку, индикацию и интерпретацию результатов предлагается осуществлять с помощью компьютера. Для проведения калибровочных исследований был разработан программный комплекс Land damage expert (LDE), который рекомендуется применять для проведения измерений. Программа для ПЭВМ написана на языке программирования Borland Delphi 7 и ориентирована на использование под руководством операционных систем Microsoft Windows NT, 2000, XP, Vista. Рекомендованные аппаратные требования для работы программы: процессор Pentium III 500 и выше, оперативная память от 256 Mb (133), 30 Mb свободного дискового пространства на винчестере, допускается использование интегрированной видеокарты. Структурно программа LDE состоит из блоков ввода информации, преобразования данных с фотографии в цифровой код, статистической обработки данных и блока сравнения. Блок ввода информации отвечает за выбор необходимого фотоснимка почвенного образца и распознавания участка почвы и эталона на снимке. Внешний вид рабочего окна программы представлен на рисунке 1.

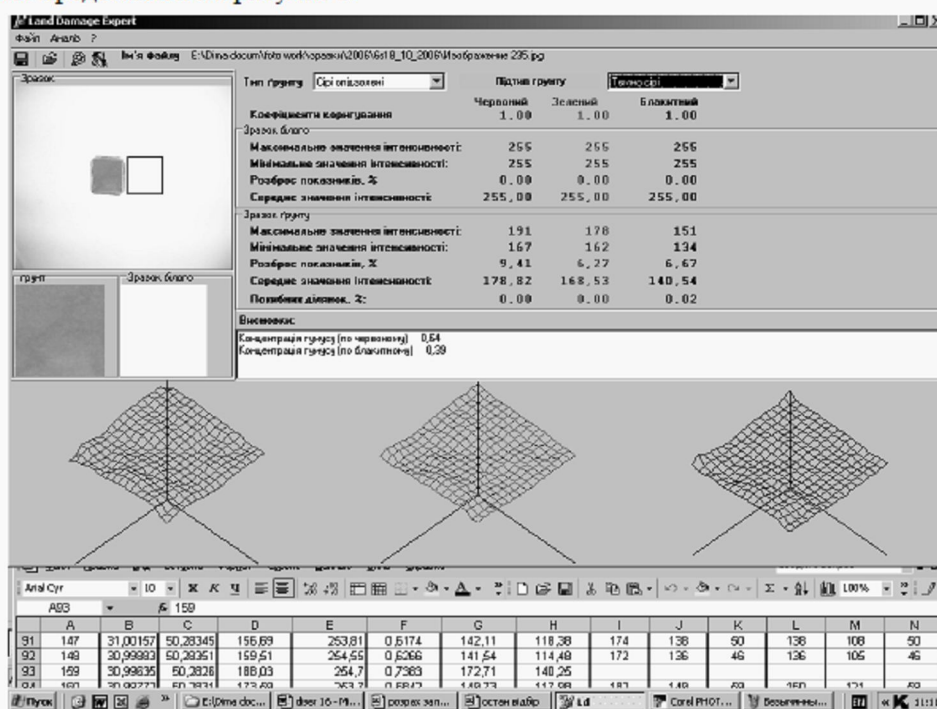


Рис. 1. Рабочее окно программы Land damage expert



Сопоставление почвы и эталона можно провести и в ручном режиме с помощью механического манипулятора (мышь), левая кнопка которой используется для обозначения участка опытного образца почвы, а правая – для выбора области эталона. Отмеченные участки также отображаются в рабочем окне программы для визуального отслеживания в увеличенном режиме загрязнения почвы или эталона инородными компонентами. При использовании программы LDE для определения содержания гумуса непосредственно в полевых условиях разработана возможность сохранения результатов в файлах с расширением RTF, XLS или в иных специализированных форматах. Сохранение фотографий почвенных образцов может быть использовано для потребностей оперативного мониторинга почв.

Блоки введения данных и статистической обработки предназначены для определения значений RGB у изображений почвы и эталона соответственно, а также построения графиков интенсивности каналов цвета. Большинство цифровых фотоаппаратов сохраняют графическую информацию в двух основных форматах TIFF и JPEG, но, последний используется чаще, так как позволяет сохранять фотографические изображения высокой степени сжатия (до определенного уровня компрессии потери информации почти незаметны, зато размер файла получается сравнительно небольшой).

При сжатии данных по схеме JPEG происходит преобразование блоков изображений в реальном цвете размером  $8 \times 8$  пикселей в набор уровней яркости и цветности. Для каждого блока используется двумерное дискретное преобразование Фурье, в результате чего получают набор из 64 коэффициентов, которые представляют этот блок. Программный комплекс LDE адаптирован для работы с файлами в указанных форматах, но для проведения анализа блок ввода данных обязательно трансформирует файл изображения в формат TIFF, для которого цвет каждого пикселя определяется отдельно.

Дополнительная функция в блоке статистической обработки позволяет исключить ошибочные участки, которые могут появиться вследствие плохой подготовки образцов до фотографирования. Участки почвы, интенсивность цвета которых отличается от среднего цвета, указанного оператором, отсеиваются и не учитываются в дальнейших расчетах. Предусмотрена возможность выведения предупреждающих сообщений, если превышен предел, установленного оператором процента ошибочных участков.

Блок сравнения используется для выдачи результата, исходя из интенсивности освещения среднего приведенного значения показателя RGB почвы и эталона и содержания гумуса, установленного аналитическим методом для конкретного вида почвы. В качестве приведенного значения RGB почв принимали те величины интенсивности цветов, которые должны быть при максимальной белизне эталона (значения по каналам RGB 255).

Зависимости между интенсивностью составляющих цвета почв и их гумусированностью определяются корреляционно-регрессионным анализом для каждого отдельного подтипа почв по образцам с известным содержанием гумуса.

В наших исследованиях использованы образцы почв разных типов и с разным содержанием гумуса. Полученные результаты свидетельствуют, что существует прямая зависимость между цветом почвы и содержанием гумуса в ней. При этом для красной составляющей цвета коэффициент корреляции варьировал в пределах 0.986–0.996. Аналогично для синей и зеленой составляющей цвета этот коэффициент соответствовал значениям 0.951–0.998 и 0.745–0.989 соответственно в пределах одного подтипа почв.

К примеру, зависимость интенсивности наиболее информативной – красной составляющей цвета темно-серых лесных почвах от содержания гумуса в них (рис. 2) имеет вид:

$$R = 130.86 H^{0.3981}, r = 0.85,$$

где  $R$  – приведенное значение интенсивности красной составляющей цвета почвы;  
 $H$  – содержание гумуса, %.

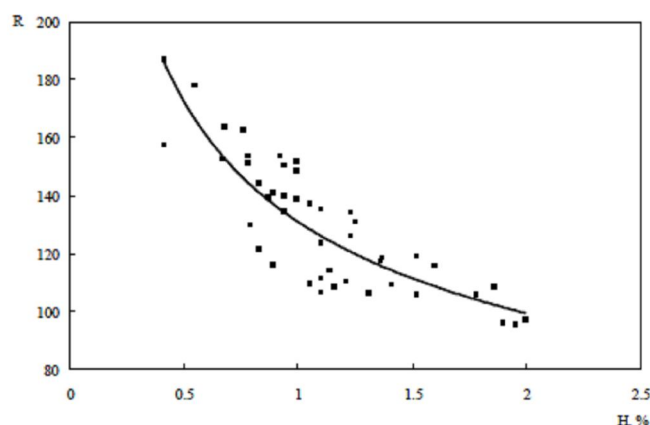


Рис. 2. Зависимость между приведенным значением интенсивности красной составляющей цвета почв (R) и содержанием гумуса (H, %).

Обоснованные по эмпирическим данным и аппроксимированные математические зависимости служат аналитической основой для компьютерной программы *LDE*. По результатам исследований получен декларационный патент на полезную модель [15]. Для обработки и сертификации методики определения гумуса в почвах по выше изложенным принципам и алгоритму нужно получить для отдельных подтипов почв соответствующие статистически обоснованные зависимости, что требует большого количества почвенных образцов с известным содержанием гумуса. Также описанную методику можно использовать для массового определения количества гумуса для большого количества образцов в пределах одного подтипа почв. В этом случае, для части образцов проводят аналитическое определение количества гумуса в лабораторных условиях, а для остальных образцов гумус определяют по уравнениям зависимости для данного подтипа почв. Как показывают новые исследования [11, 16], использование цифровой камеры как полевого аналитического инструмента перспективно не только для определения окраски почв и содержания органического вещества, но и для выявления оксидов железа и гранулометрического состава.

### Выводы

1. Доказана возможность и целесообразность использования цифровых фотоаппаратов для определения содержания гумуса в почвах по их окраске.
2. Предложена оригинальная методика определения содержания гумуса в почвах с помощью цифрового фотоаппарата.
3. Предложена прикладная компьютерная программа *Land damage expert* для обработки данных, полученных с помощью цифрового фотоаппарата, с целью определения содержания гумуса в почвенных образцах.

### Список литературы

1. Карманов И.И. Спектральная отражательная способность и цвет почв, как показатели их свойств. – М.: Колос, 1974. – 351 с.
2. Михайлова Н.А., Орлов Д.С. Оптические свойства почв и почвенных компонентов. – М.: Наука, 1986. – 117 с.
3. Bulygin S.Yu., Lisetskii F.N. Aggregate composition of soils, its assessment and monitoring // *Eurasian Soil Science*. – 1996. – Vol. 29, № 6. – P. 707–711.
4. Kevin O'Donnell T., Keith W. Goynes, Randall J. Miles, Claire Baffaut, Stephen H. Anderson, Kenneth A. Sudduth. Identification and quantification of soil redoximorphic features by digital image processing // *Geoderma*. – 2010. – Vol. 157. – P. 86–96.
5. Шатохин А.В., Ачасов А.Б. Использование современных технологий при картографировании почвенного покрова Северной Донецкой Степи // *Почвоведение*. – 2005. – № 7. – С. 790–798.
6. Дистанционное зондирование: количественный подход / Дейвис Ш.М., Ландгребе Д.А., Филлипс Т.Л. и др. – М.: Недра, 1983. – 414 с.



7. Зборишук Ю.Н. Дистанционные методы инвентаризации и мониторинг почвенного покрова. – М.: Изд-во МГУ, 1992. – 86 с.
8. Виноградов Б.В. Дистанционная индикация содержания гумуса в почвах // Почвоведение. – 1981. – № 11. – С. 114–123.
9. Садовников Ю.Н., Орлов Д.С. Спектрофотометрический метод характеристики почв, почвенной окраски и количественные закономерности отражения света почвами // Агрохимия. – 1978. – № 4. – С. 133–149.
10. Шатохин А.В., Ачасов А.Б., Загородня Л.О. Зв'язок вмісту вуглецю в ґрунтах Лісостепу і Степу України з їх спектральними характеристиками // Агрохімія і ґрунтознавство. – 1998. – Вып. 59. – С. 25–31.
11. 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 // International Journal of Remote Sensing. – 2005. – Vol. 26, Iss. 24. – P. 5475–5492.
12. Gutschick V. Should you use a digital camera in your research? // Bulletin of the ecological society of America. – 2002. – Vol. 83, № 3. – P. 14–18.
13. Пузаченко Ю.Г., Пузаченко М.Ю., Козлов Д.Н., Алещенко Г.М. Анализ строения почвенного профиля на основе цифровой цветной фотографии // Почвоведение. – 2004. – № 2 – С. 133–146.
14. Методи аналізів ґрунтів і рослин / За ред. С.Ю. Булигіна та ін. – Харків: ПА, 1999. – С. 13–14.
15. Булигін С.Ю., Ачасов А.Б., Бідолах Д.І. Барвінський А.В., Ачасова А.О., Гайбура Н.А., Опришко О.О. Спосіб визначення вмісту гумусу в ґрунті. Деклараційний патент на корисну модель 20040604549; 11.06.2004; 17.01.2005; 17.01.2005; Бюл. №1.
16. Viscarra Rossela R.A., Fouada Y., Waltera C. Using a digital camera to measure soil organic carbon and iron contents // Biosystems Engineering. – 2008. – Vol. 100., Iss. 2. – P. 149–159.

## EVALUATION OF SOIL HUMUS CONTENT BY TREATMENT OF THEIR DIGITAL PHOTOGRAPHIC IMAGES

**S.Y. Bulygin**<sup>1</sup>

**D.I. Bidolah**<sup>2</sup>

**F.N. Lisetskii**<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Belgorod State Agricultural Academy  
Vavilova St., 1, Mayskiy, Belgorod Distr.,  
Belgorod Reg., 308503, Russia

E-mail: s.bulygin@rambler.ru

<sup>2</sup>Berezhany Agro-Technical Institute,  
National University of Life and  
Environmental Sciences of Ukraine  
Academic St., 20, Berezhany, Ternopil Reg.,  
47501, Ukraine

E-mail: office@bati.ber.te.ua

<sup>3</sup>Belgorod State National Research University  
Pobedy St., 85, Belgorod, 308015, Russia

E-mail: liset@bsu.edu.ru

Methods of express analysis of the soil humus content, based on the comparison of the soil color and standard samples with the help of the digital camera and computer program are set forward in this paper. Calibration results are presented and the original principle of Land damage expert program, designed for digital picture processing is described.

Key words: humus, soil color, digital camera, digital photography, computer-express analysis.