

УДК 621.822.6.004.67:678.344.329:658.562.012.7

## **ЦВЕТ И ДИАГНОСТИКА ПОЧВ**

**Мишин Борис Сергеевич**

Ассистент

**Некрасова Татьяна Александровна**

Студентка

ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ,

г. Мичуринск, Россия

**Аннотация:** в статью включены основные термины цветовые шкалы и атласы, спектральная отражательная способность почв.

**Ключевые слова:** цвет, почва, диагностика, химические свойства.

## ВВЕДЕНИЕ

На поверхности земного шара сформировано очень много почв, различающихся по внешнему виду, химическим и физическим свойствам. Только для республик бывшего СССР называют более 90 типов и 208 подтипов почв [1], не считая того, что выделяют и более мелкие единицы, различающиеся по содержанию песка и глины, степени смывости, содержанию гумуса и т.п. Поэтому необходимы приемы, методы, показатели, чтобы почвы можно было различать и классифицировать. Создано несколько различных классификаций. Согласно В.В. Докучаеву, почвы различаются по условиям их образования, происхождению, внешнему виду. Академик К.К. Гедройц предложил классификацию, основанную на химических свойствах почв. Используют при классификации особенности водного и теплового режимов, сочетания различных горизонтальных слоев (горизонтов) в толще почвы, наличие плотных прослоек и многое другое. Но одним из основных признаков, используемых при классификации и диагностике почв остается цвет, который особенно удобен при проведении полевых исследований. Правда, как говорят, "на вкус и цвет товарища нет", и дело не только в том, что какие-то цвета одним нравятся больше, другим - меньше, а в том, что само восприятие цвета у разных людей неодинаково. Специальные исследования, проведенные на факультете почвоведения МГУ, показали, что при визуальной оценке цвета почвы 25 исследователями расхождение в определении тональности окрасок достигало 1,5-2 раза. Оценка цвета почвы на глаз в полевых условиях не всегда однозначна. Влажные почвы обычно кажутся более темными, чем сухие, а оттенки цвета зависят от высоты стояния солнца над горизонтом, расположенной рядом растительности и других факторов. Следовательно, необходимы объективные способы понимания и оценки цвета почвы и ее горизонтов.

## ЦВЕТОВЫЕ ШКАЛЫ И АТЛАСЫ

Для унификации наименования цветовых оценок С.А. Захаров еще в 1927 г. предложил треугольник почвенных окрасок. Он исходил из того, что гумус

почвы окрашивает ее в серые и темно-серые тона, соединения железа - в бурые, красноватые и желтоватые, а многие компоненты почвы, такие, как аморфный  $\text{SiO}_2$ , кварц, карбонаты кальция  $\text{CaCO}_3$ , сульфаты кальция  $\text{CaSO}_4$  и др., имеют белый цвет. Эта схема позволила понять, как формируется окраска почв, но она не вводила каких-то единых приемов измерений, не давала необходимой количественной оценки.

Первой попыткой введения единообразия в оценку и наименование цветов почвы стал атлас Манселла, получивший международное признание. Каждая окраска в этом атласе характеризуется тремя показателями: тоном (оттенком), интенсивностью окраски и чистотой спектрального цвета. В качестве основных тонов взяты красный, желтый, зеленый, синий и фиолетовый, на основе которых и создано большое число накрások. Сравнение цвета почвенных проб с накрásokами атласа Манселла позволяет любому исследователю приписать почвенной пробе конкретный цвет и даже записать его условную формулу. Этот способ получил широкое распространение, но все же словесное описание цвета пробы и его оттенков зависит от восприятия цвета исследователем, а буквенно-числовые формулы воспринимаются с трудом, их скорее можно считать некоторым кодом, шифром, чем реальным описанием цвета. К числу недостатков атласа Манселла следует отнести и то, что при полиграфическом исполнении атласа приведенные в нем накрásokи сильно отличаются от реальных цветов почв. Наиболее полно, объективно и количественно характеризуют цветовые характеристики почв их спектры отражения.

## СПЕКТРАЛЬНАЯ ОТРАЖАТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОЧВ

Одним из первых методов отражательной способности применил к изучению почв Г.И. Покровский в 1928-1929 г.г., позже много внимания этому вопросу уделяли Н.А. Архангельская, В.Л. Андронников, Е.Л. Кринов, Д.С. Орлов, Б.В. Виноградов, Н.А. Михайлова, П.П. Федченко, М.Е. Баумгарднер. С историей развития учения об отражательной способности почв можно ознакомиться в литературе [2-5]. Принципы этого метода основаны на простых представлениях

и несложных формулах. Все твердые непрозрачные тела отражают свет, но его отражение почвами отличается от зеркального, и его называют диффузным. Поверхность почвы сложена комочками (агрегатами) различных размеров, между которыми всегда есть зазоры, образующие поровое пространство. Поэтому попадающий на такую поверхность световой пучок отражается во всех направлениях. В связи с этим различают два важнейших показателя: коэффициент отражения  $r$  и коэффициент яркости  $R$ . Общее количество световой энергии, отражаемой во всех направлениях, называют коэффициентом отражения. Его можно измерить с помощью интегрирующей сферы или шара Тейлора, в котором отраженные в любых направлениях лучи внутри шара суммируются и равномерно освещают поверхность фотоэлемента, измеряющего интенсивность излучения. Коэффициент отражения  $r$  обычно находят как отношение (в %) интенсивности отраженного света  $I$  к интенсивности исходного, падающего на поверхность почвы света  $I_0$  :  $r = (I / I_0) \cdot 100\%$ . Коэффициент отражения можно измерить только в лабораторных условиях, он является характеристикой самой почвенной поверхности и не зависит от внешних факторов.

Коэффициент яркости измеряют в полевых или лабораторных условиях, в том числе с помощью космической или аэрофотосъемки. При этом находят величину отражения света в одном направлении, поскольку дистанционно почву можно наблюдать только под одним выбранным углом. Коэффициент яркости  $R = (I / I_0) \cdot 100\%$  находят по той же формуле, как и  $r$ , но только здесь  $I_0$  - это отражение от идеально белой поверхности, расположенной на месте почвенной пробы, а  $I$  - отражение от самой почвенной пробы. Из определения следует, что коэффициент яркости зависит от угла, под которым ведется наблюдение, от высоты стояния солнца, облачности и состояния запыленности атмосферы. Поэтому он характеризует отражательную способность почвы только при конкретных условиях. В общем виде  $r = k \cdot R$ , но коэффициент пропорциональности  $k$  - величина переменная и зависит от перечисленных выше условий. Оба коэффициента могут быть интегральными ( $r_S$ ,  $R_S$ ), если они

характеризуют отражение во всем интервале видимой области спектра от 400 до 750 нм, или спектральными, если они измерены при определенной длине волны  $l(\lambda, R \lambda)$ .

Распределение спектральных коэффициентов отражения по длинам волн получило название спектральной отражательной способности почв. Главнейшие типы спектральной отражательной способности почв показаны на рис. 3, на котором также цветом показаны спектральные интервалы. Кривая 1 на рис. 3 получена для верхнего горизонта чернозема типичного. Доля отраженного черноземом света невелика, интегрально она не превышает 5%, в синей области спектра отражение составляет всего 4%, и хотя доля отраженного света повышается по мере увеличения длины волны, но даже при 750 нм она не превышает 10%. Строго говоря, цвет такой почвы нельзя назвать черным, скорее он буровато-темно-серый. Кривая 3 характеризует переходные горизонты (горизонты вымывания, иллювиирования) многих почв, обогащенные соединениями железа. Характер отражения у них иной: значительно выше величины  $r_{400}$  и  $r_{750}$ , но, что очень важно, в области от 500 до 600 нм происходит резкое увеличение коэффициентов отражения, выявляется перегиб, глубина которого связана с содержанием соединений железа, а положение по оси абсцисс - с составом этих соединений. Благодаря этому перегибу резко нарастает отражение в красной области спектра. Наконец, кривая 2 отвечает осветленным, отмытым (элювиальным) горизонтам, которые свойственны почвам многих областей с большим количеством осадков. Если сопоставить эти кривые с рис. 1, то нетрудно заметить, что кривая 1 отвечает горизонту А, кривая 2 - горизонту В, а кривая 3 - горизонту Е. Между этими тремя типами кривых может быть множество переходных форм.

Для количественной характеристики спектров отражения используют  $r_S$ ,  $r_{750}$ , разность коэффициентов отражения при 620 и 480 нм, длину волны полуперегиба  $\lambda_{1/2}$ , тангенсы углов наклона кривой в целом и ее отдельных

отрезков. Этих показателей вполне достаточно для диагностики почв и их химического состава.

## ДИАГНОСТИКА НЕКОТОРЫХ ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ

Одно из преимуществ метода спектральной отражательной способности состоит в том, что он позволяет давать оценку состава почв, наблюдать за их состоянием, осуществлять почвенно-химический мониторинг без сложных и трудоемких химических анализов. Обычно удается контролировать те почвенные компоненты, которые имеют яркую окраску, в их числе органические вещества (гуминовые кислоты и гумин), соединения железа, оксиды марганца, некоторые простые соли белого цвета.

Зависимость между коэффициентом отражения и содержанием в почве органического вещества всегда выражается экспоненциальным уравнением, но с постоянным членом [3]:  $r_{750} = A \cdot e^{-kH} + r_H$ ,

где  $r_{750}$  - спектральная отражательная способность почвы,  $r_H$  - минимальный коэффициент отражения при максимальном содержании органического вещества  $H$  в почве,  $A$  и  $k$ -параметры;  $A$ -это разность между  $r_{750}$  и  $r_H$ , когда  $H=0$ ,  $k$  показывает крутизну падения кривой отражения (рис. 4). Численные значения параметров уравнения неодинаковы в различных почвах. В черноземах, где много наиболее сильно окрашенных гуминовых веществ, покрывающих минеральные частицы плотным слоем, отражение очень быстро падает по мере увеличения содержания гумуса. В подзолах и дерново-подзолистых почвах прокрашивание идет медленнее, в значительно большей степени проявляется влияние светлоокрашенной минеральной основы.

Знание регрессионных зависимостей и соответствующих параметров позволяет оценить уровни содержания гумуса в почвенных пробах, тип гумуса и в результате определить, какому почвенному типу принадлежит почвенная проба. Та же зависимость позволяет контролировать и потери почвами гумуса. Со времен В.В. Докучаева, как считают многие авторы, даже черноземы

центральных областей России потеряли 30-40% ранее содержавшегося в них гумуса. Измерение отражательной способности позволяет быстро получать оперативную информацию и выявлять районы, где потери гумуса происходят в особо значительных размерах.

Сложнее обстоит дело с диагностикой почв по уровням содержания железа, поскольку они унаследованы от почвообразующей породы и по мере развития почвообразования их окраска маскируется гумусом. Поэтому только при определенных соотношениях гумус: железо удается найти необходимые корреляционные связи. Очень хорошо выявляется влияние  $\text{CaCO}_3$ . В любых почвах и осадочных породах увеличение содержания  $\text{CaCO}_3$  на 1% повышает отражательную способность на 0,4 %, зависимость линейная, но когда  $\tau_{750}$  достигает 60-70 %, она перестает изменяться и сохраняется почти постоянной при дальнейшем накоплении карбонатов.

Интересно влияние обычных для засоленных почв легкорастворимых солей, таких, как  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . В порошке эти соли белого цвета, и можно ожидать, что засоление почвы такими соединениями должно вызывать увеличение отражательной способности. Но во многих регионах отражательная способность засоленных почв периодически то возрастает, то вновь снижается. Оказывается, что после небольших дождей или снеготаяния лежащие на поверхности почвы соли промываются и отражательная способность падает, даже если соли опускаются всего на несколько миллиметров ниже поверхности почвы. В сухой период соли подтягиваются к поверхности и отражательная способность вновь нарастает. Но это естественные процессы, а парадоксальным представляется явление, когда добавление к почве  $\text{NaCl}$  вызывает не рост, а снижение отражения. Дело в том, что кристаллики соли выполняют роль своеобразных световодов, по которым свет проникает внутрь почвенного слоя, там претерпевает многократные отражения и постепенно гасится.

Все это подчеркивает, что хотя по отражательной способности можно судить о площадях засоленных почв, следить за их расширением или сужением,

но приходится быть крайне осторожным в интерпретации результатов наблюдений и учитывать реальные погодные условия в период наблюдений.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПОВ ПОЧВ ПО СПЕКТРАЛЬНОЙ ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ

На кафедре химии почв МГУ была предпринята попытка составить определитель почв по их спектральной отражательной способности. Эту работу выполнил аспирант И. Илиев на примере равнинных почв Болгарии. Последняя была выбрана потому, что на сравнительно небольшой территории ее почвенный покров очень разнообразен. И. Илиев разделил все почвенные горизонты (которых оказалось 37) на три группы по величинам  $r_{750}$ ,  $r_{640-480}$  и  $r_S$ . Если по спектру отражения измерить эти величины, то потом, пользуясь специальной таблицей, легко определить, какой именно почве принадлежит исследуемая почвенная проба.

## ДИАГНОСТИКА ЭРОДИРОВАННЫХ И ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЬЮ ПОЧВ

При эрозии (смыве) почвы обычно утрачиваются наиболее богатые гумусом и, следовательно, наиболее темные горизонты. Выходящие на поверхность слои имеют уже иную окраску. Возможны два контрастных варианта. Первый вариант: если окраска монотонно и равномерно убывает вниз по почвенному профилю, как это происходит в черноземах, тогда степень смытости (или степень эродированности) можно узнать путем простого сопоставления спектров отражения верхнего горизонта смытой почвы и спектров отражения различных горизонтов несмытой. Совпадение спектров указывает, какой из ранее более глубоких горизонтов почвы теперь находится на поверхности. Второй вариант более сложный и относится к почвам, профиль которых сложен резко различными по цвету горизонтами. Если такие почвы распахиваются, то верхний пахотный слой формируется путем смешивания части оставшегося верхнего гумусного горизонта с лежащим под ним осветленным элювиальным горизонтом Е или даже с еще более глубоко

расположенным горизонтом вымывания В. Вклад каждого из горизонтов в смешанную окраску зависит от степени смывости и мощностей смешиваемых горизонтов. Если одновременно измерить  $r_S$ ,  $r_{750}$  и  $r_{640-480}$ , то можно найти толщину смытого слоя почвы. При дистанционных наблюдениях возможно выявить и размеры территории, занятой смытыми почвами.

Этим методом удастся выявлять почвы, подверженные химическому загрязнению. Наиболее наглядно на внешнем виде и окраске почвы проявляется ее загрязнение нефтью. Нефти различных месторождений неодинаковы по составу и свойствам, но, попадая на поверхность почвы или проникая в глубь ее, они всегда вызывают потемнение. Правда, если почва исходно темная, богатая гумусом, то добавки нефти практически не влияют на окраску, а наиболее заметно влияние нефти на светлых, слабогумусированных почвах, подзолах, дерново-подзолистых почвах, светло-серых лесных, светло-каштановых, бурых и серо-бурых почвах, сероземах. Эксперименты показали, что если серо-бурая незагрязненная почва характеризуется величиной  $r_{750}$  около 40%, то добавление 8-10% нефти постепенно снижает этот коэффициент до 8-12%.

Общая зависимость между содержанием углеводов нефти и отражательной способностью почвы выражается, как и для содержания гумуса, экспоненциальным уравнением. Основываясь на этих данных, Д.С. Орлов, Я.М. Аммосова и Е.А. Бочарникова для серо-бурых почв Апшеронского полуострова предложили метод оценки степени нефтяного загрязнения, используя только легко определяемые величины интегрального коэффициента отражения света:

Конечно, еще раз надо подчеркнуть, что эти решения не имеют универсального характера. Многообразие почв велико, некоторые имеют исходно темную окраску, состоят из частиц различных размеров - от коллоидных до песчаных, неодинаковы и нефти. Поэтому для практического применения найденных закономерностей предстоит еще провести работы по составлению каталога почв, для которых применима дистанционная оценка нефтезагрязнения, найти параметры уравнения применительно к различным почвам и нефтям. Но

уже теперь дистанционное измерение отражательной способности почв позволяет оперативно выявлять территории, загрязненные нефтью, а следовательно, принимать быстрые меры по ликвидации загрязнения и его последствий.

## ПОЧВЕННЫЕ КАРТЫ И КАРТОГРАММЫ

Одна из самых заманчивых перспектив - составление мелко-, средне-, а возможно, и крупномасштабных почвенных карт на основе дистанционных измерений их отражательной способности. При решении этой задачи всегда возникает принципиальный вопрос: можно ли различать почвы только по их верхним (как иногда говорят, дневным) горизонтам? Сегодня наука дает однозначный ответ: нет; есть почвы, верхние горизонты которых по многим свойствам и особенно по содержанию гумуса, характеру окраски практически одинаковы. Но такие почвы часто разделены пространственно, и поэтому общую картину структуры почвенного покрова можно оценить дистанционно.

Первую почвенную карту Украины и Молдавии по спектрам отражения составили П.П. Федченко и К.Я. Кондратьев [5]. Они проводили аэрофотосъемку территории, используя четырехканальный узкополосный фотометр со средними значениями длин волн 450, 650, 750, 850 нм, и приняли, что сельскохозяйственные угодья этих республик представлены девятью подтипами почв: дерново-сильноподзолистые, дерново-среднеподзолистые, дерново-слабоподзолистые, светло-серые лесные, темно-серые лесные почвы, черноземы мощные, южные, обыкновенные и каштановые почвы. Занимаемая этими почвами площадь составляет около 95% всей изученной территории, и поэтому ошибками за счет влияния других почв можно было пренебречь. Аэрофотосъемку проводили преимущественно в тот период, когда урожай убран и поверхность почвы не затенена растениями. Конечно, авторам потребовался довольно сложный математический аппарат, но компьютерная техника существенно облегчает обработку получаемых результатов. Составленная таким способом почвенная карта Украины и Молдавии в масштабе 1:1500000 совпала

с традиционно составленной почвенной картой на 94,3%, что надо признать очень хорошим уровнем совпадения. В опытах П.П. Федченко и К.Я. Кондратьева были использованы результаты самолетных измерений спектральных коэффициентов яркости. Следует обратить внимание на то, что результаты измерений зависят от высоты стояния солнца над горизонтом, облачности, влажности почв. Поэтому для самолетных измерений обычно подбирают сопоставимые условия. Наиболее трудно контролировать влажность почв, и поэтому самолетные измерения часто заменяют на лабораторные, при которых влажность почв и другие условия остаются постоянными. Получаемые в лабораторной обстановке спектральные коэффициенты отражения имеют уже фундаментальный, базовый характер, отражают только свойства почв и не зависят от погодных условий съемки.

Такая карта отражательной способности почв юга европейской части России была составлена на кафедре химии почв МГУ на основе только лабораторных измерений коэффициентов отражения проб почв, собранных в полевой обстановке. Изученная территория охватывает шесть почвенно-географических зон, включающих 14 провинций, в том числе четыре горные. Спектры отражения были сняты на спектрофотометре СФ-18 для 432 проб верхних горизонтов 25 различных почв. Величины  $r_{750}$  были обработаны статистически, и для составления картограммы был выбран шаг  $r_{750} = 4\%$  с таким расчетом, чтобы это отвечало изменению содержания гумуса на 0,5%. Всего на этой основе было получено восемь контуров по отражательной способности: более 34, 30-34, 26-30, 22-26, 18-22, 14-18, 10-14 и менее 10%. За границы контуров отражательной способности были приняты границы почв, найденные традиционными приемами. Полученная картограмма отражательной способности хорошо совпадает с традиционной почвенной картой того же масштаба. Отличие заключается в том, что в один контур иногда попадают почвы разные по генезису, но имеющие сходное содержание гумуса и величины отражения. Так, на картограмме отражательной способности в один контур объединяются выщелоченные, типичные и обыкновенные черноземы; затем

обыкновенные мицеллярно-карбонатные черноземы и темно-каштановые почвы; аллювиальные почвы, типичные мицеллярно-карбонатные черноземы и горные бурые почвы; бурые пустынно-степные почвы и солонцы. Нужно, однако, напомнить, что приведенная картограмма получена только на основе одного показателя -  $r_{750}$ . Одновременное использование нескольких показателей отражательной способности почв, несомненно, позволит разграничить и эти почвы, пока объединяемые в общие контуры.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цвет в природе - окраска листьев, стеблей, цветов, животных, неба и почвы - дарит человеку немало радости. Но в то же время цвет - важнейший показатель химического состава и состояния природных объектов. А изучение цвета - замечательный инструмент познания формирования почв, их происхождения, изменений, которые происходят с ними под влиянием человеческой деятельности. Сейчас цветовые характеристики позволяют диагностировать генетические горизонты почвы, почвенные типы и подтипы. Многие показатели отражательной способности указывают на содержание гумуса, некоторых соединений железа, карбонатов, сульфатов, хлоридов. Они позволяют оценивать масштабы засоления почв, их загрязнения нефтью, степень повреждения. Наконец, на их основе возможно составление почвенных карт и картограмм, осуществление почвенно-экологического мониторинга. К сожалению, несмотря на такие возможности и перспективы, полной теории отражения света почвами пока не существует. Одна из причин - недооценка цвета как одного из важнейших свойств природных объектов, отражающего их внутреннюю сущность. Очень редко делаются попытки глубокого изучения окраски природных объектов. И может быть, природе цветности мало внимания уделяется в средней школе. Расширить знания о природе цветности необходимо, и поэтому в списке литературы приведены не только книги, прямо относящиеся к предмету настоящего сообщения, но и некоторые другие о природе света и

цвета [6, 7]. Знакомство с ними станет полезным для тех, кто хочет понять закономерности формирования окружающей нас среды.

### Список литературы

1. Афанасьева Т.В., Василенко В.И., Терешина Т.В., Шерemet Б.В. Почвы СССР. М.: Мысль, 1979. 382 с.
2. Михайлова Н.А., Орлов Д.С. Оптические свойства почв и почвенных компонентов. М.: Наука, 1986. 119 с.
3. Орлов Д.С. Химия почв. М.: Изд-во МГУ, 1992. 400 с.
4. Розанов Б.Г. Морфология почв. М.: Изд-во МГУ, 1983. 320 с.
5. Федченко П.П., Кондратьев К.Я. Спектральная отражательная способность некоторых почв. Л.: Гидрометеoиздат, 1981. 232 с.
6. Миннарт М. Свет и цвет в природе. М.: Физматгиз, 1959. 440 с.
7. Пэдхем Ч., Сондерс Дж. Восприятие света и цвета. М.: Мир, 1978. 256 с.

### COLOR AND DIAGNOSTICS OF SOILS

**Mishin B. S.**

Assistant

**Nekrasova T.A.**

Student

Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

**Summary:** the article includes the basic terms color scales and atlases, spectral reflectivity of soils.

**Keywords:** color, soil, diagnostics, chemical properties.