

УДК 502.3;502.5;631.452

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ЦВЕТОВОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ПОЧВЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Н. Г. Джавадов (НАКА Азербайджана, Баку)

Национальное аэрокосмическое агентство Азербайджана, директор, доктор технических наук, профессор.

Х. Г. Асадов (НАКА Азербайджана, Баку)

Национальное аэрокосмическое агентство Азербайджана, Научно-исследовательский институт аэрокосмической информатики, доктор технических наук, профессор (e-mail: asadzade@rambler.ru).

Ф. Т. Казимова (НАКА Азербайджана, Баку)

Национальное аэрокосмическое агентство Азербайджана, аспирант (e-mail: fergane.kazimova@mail.ru).

Аннотация. Статья посвящена исследованию точности цветового определения органических веществ в почве по результатам дистанционного зондирования. Рассмотрены две задачи, касающиеся дистанционного колориметрического определения содержания органических веществ в почве. Разработана методика определения количества органического углерода, основу которой составляет: (а) определение координат цветности по Манселю; (b) определение X, Y, Z координат и (с) определение R, G, B координат и вычисление SOC на базе индекса SOCI и корреляции между SOC и индексам SOCI. Вторая задача относится к проведению корректировочных процедур из-за влияния аэрозоля на цветность дистанционного исследуемых объектов.

Ключевые слова: почва, органическое вещество, цветность, колориметрия, дистанционное зондирование

Введение

Хорошо известно, что цвет почвы является важнейшей ее характеристикой и исторически еще в 80-х годах прошлого века для дистанционного определения цвета почвы использовались 3 канала Landsat TM [1]. Одним из важных направлений в колориметрическом исследовании почвы является определение содержания органических веществ, или более конкретнее, органического углерода методами цветового анализа. Органическое вещество является важнейшим фактором в реализации концепции "точного земледелия" и обуславливает высокую плодородность земли, позволяет успешно бороться с результатами таких негативных факторов как засуха, наводнение, болезни растений [2]. Кроме того, увеличение содержания органических веществ в почве способствует уменьшению CO₂ в атмосфере, что является одной из важных причин глобального потепления [3]. В общем случае, увеличение содержания органических веществ в почве приводит к значительным изменениям цвета почвы, т.к. при этом коэффициент отражения почвы в коротковолновой (видимая область и близкая ИК) области уменьшается [4, 5]. Согласно

работе [6], важнейшей составляющей органических веществ в почве является органический углерод. Так, например, уменьшение органического углерода в почве из-за эрозии почвы может вызвать значительную потерю в экономике страны [7]. Согласно [8], цвет почвы в основном определяется такими факторами, как влажность почвы и содержание органического углерода в почве. Однако, согласно [9, 10] увеличение влажности почвы равномерно влияет на коэффициент отражения почвы во всем диапазоне длин волн. По этой причине переход на относительные значения коэффициентов отражения позволяет учесть этот фактор.

Целью настоящей работы является:

- а) анализ возможности определения количества органического углерода на базе RGB технологии с учетом эмпирической методологии Манселя;
- б) разработка метода устранения влияния атмосферного аэрозоля на определение цвета почвы.

Предлагаемый метод

Разработка методики определения общего количества органического углерода SOC в почве методом колориметрии

Как отмечается в работе [6], разработан спектральный индекс $SOCI$, позволяющий оценить общее количество органического углерода по следующей формуле:

$$SOCI = \frac{\rho_{blue}}{\rho_{red} \cdot \rho_{green}} \quad (1)$$

где: ρ_{blue} - коэффициент отражения почвы на длине волны 478 нм;

ρ_{green} - тоже на длине волны 546 нм;

ρ_{red} - на длине волны 659 нм.

В формуле (1) были использованы центральные длины волн WorldView-2.

На рис.1 приведено скатерограмма и корреляционная связь между SOC и индексом ($SOCI$).

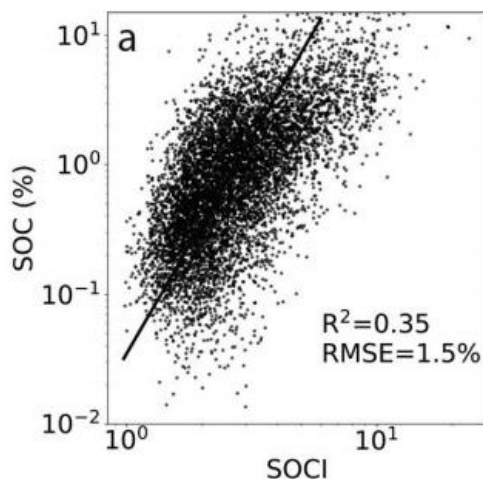


Рис.1. Регрессионная связь между показателем SOC и индексом $SOCI$ [6]

Как отмечается в работе [1], согласно принципам колориметрии, утвержденным Международной Комиссией в 1931-м году, цвет объекта при заданных условиях освещенности может быть вычислен на основе его спектральной кривой отражения в видимой области. В системе C.I.E. цвет выражается через координаты X, Y, Z [1]. Вместе с тем, в работе [11], были даны формулы для перехода от международной системы C.I.E. в эмпирическую систему цветности Манселя. В работе [12] было показано, что почва не относится к объектам, характеризующимся явлением метамеризма, и различие спектральных отражательных характеристик всегда приводит к различию цвета почвы.

Предлагаемая методика вычисления содержания SOC в почве на основе эмпирической цветовой диаграммы Манселя заключается в следующем:

1. Цветовые координаты Манселя превращаются в координаты X, Y, Z используя известные таблицы, опубликованные для дневных условий освещенности [13].

2. На основе следующей системы уравнений вычисляются R, G, B координаты [1]:

$$X = 2,7689R + 1,7519G + 1,1302B \quad (2.1)$$

$$Y = R + 4,5909G + 0,0601B \quad (2.2)$$

$$Z = 0,0565G + 5,5944B \quad (2.3)$$

3. Вычисляются коэффициенты отражения на длинах волн R, G, B:

$$\rho_i = \frac{S_{max} - S_i}{S_{max} - S_{min}} \quad (3)$$

где: S_{max} - максимальная величина отраженного сигнала;

S_{min} - минимальная величина отраженного сигнала;

S_i - величина отраженного сигнала от исследуемого объекта.

4. Вычисляется индекс SOC/ по формуле [1].

5. Используя диаграмму, показанную на рис.1 определяют величину SOC.

Разработка методики учета влияния атмосферного аэрозоля на результат определения цветности

Хорошо известно, что оптическая толщина атмосферного аэрозоля является нелинейной функцией длины волны и определяется по формуле Ангстрема:

$$\tau_{aэр}(\lambda) = \beta \cdot \lambda^{-\alpha} \quad (4)$$

где: $\tau_{aэр}(\lambda)$ – оптическая толщина аэрозоля;

β – коэффициент аэрозольной мутности атмосферы;

λ – длина волны;

α – показатель Ангстрема.

Нелинейной характер выражения (4) приводит к тому, что компоненты R, G, B искажаются в различной степени из-за влияния атмосферного аэрозоля. При переходе

от RGB системы к системе XYZ на основе уравнений (2.1), (2.2) и (2.3) можно предположить, что имеет место следующее соотношение:

$$(x + \Delta x) = a_1(R + \Delta R) + a_2(G + \Delta G) + a_3(B + \Delta B) \quad (5)$$

$$(y + \Delta y) = b_1(R + \Delta R) + b_2(G + \Delta G) + b_3(B + \Delta B) \quad (6)$$

$$(z + \Delta z) = c_1(R + \Delta R) + c_2(G + \Delta G) + c_3(B + \Delta B) \quad (7)$$

где: $a_i, b_i, c_i; i=1,3$ – коэффициенты указанные в (2.1)-(2.3), в общем случае также определенные с некоторой погрешностью.

На основе уравнений (5), (6) и (7) вычислим условие, при котором выполняется равенство

$$\Delta X = \Delta Y = \Delta Z = 0 \quad (8)$$

Из выражения (5) ясно, что условия $\Delta X = 0$ может быть обеспечено при выполнении условий

$$(a_{1+\Delta a_1})(R + \Delta R) = a_1 R \quad (9)$$

$$(a_{2+\Delta a_2})(G + \Delta G) = a_2 G \quad (10)$$

$$(a_{3+\Delta a_3})(B + \Delta B) = a_3 B \quad (11)$$

Из условия (9) получаем

$$a_1 \Delta R + \Delta a_1 R + \Delta a_1 \Delta R = 0 \quad (12)$$

Из условия (10) получим

$$a_2 \Delta G + \Delta a_2 G + \Delta a_2 \Delta G = 0 \quad (13)$$

Из условия (11) получим

$$a_3 \Delta B + \Delta a_3 B + \Delta a_3 \Delta B = 0 \quad (14)$$

Выражение (12) представим как

$$\Delta R(a_1 + \Delta a_1) = -R \cdot \Delta a_1 \quad (15)$$

или

$$\frac{\Delta R}{R} = -\frac{\Delta a_1}{a_1 + \Delta a_1} \quad (16)$$

Аналогичным образом для (10) и (11) получим

$$\frac{\Delta G}{G} = -\frac{\Delta a_2}{a_2 + \Delta a_2} \quad (17)$$

$$\frac{\Delta B}{B} = -\frac{\Delta a_3}{a_3 + \Delta a_3} \quad (18)$$

Уравнения (16)÷(18) в общем случае можно представить как

$$\kappa = -\frac{\eta}{1+\eta} \quad (19)$$

где: κ – последовательно имеет значение $\frac{\Delta R}{R}, \frac{\Delta G}{G}, \frac{\Delta B}{B}$,

η – последовательно принимает значения $\frac{\Delta a_1}{a_1}; \frac{\Delta a_2}{a_2} \text{ и } \frac{\Delta a_3}{a_3}$

График выражения (19) приведен на рис.2.

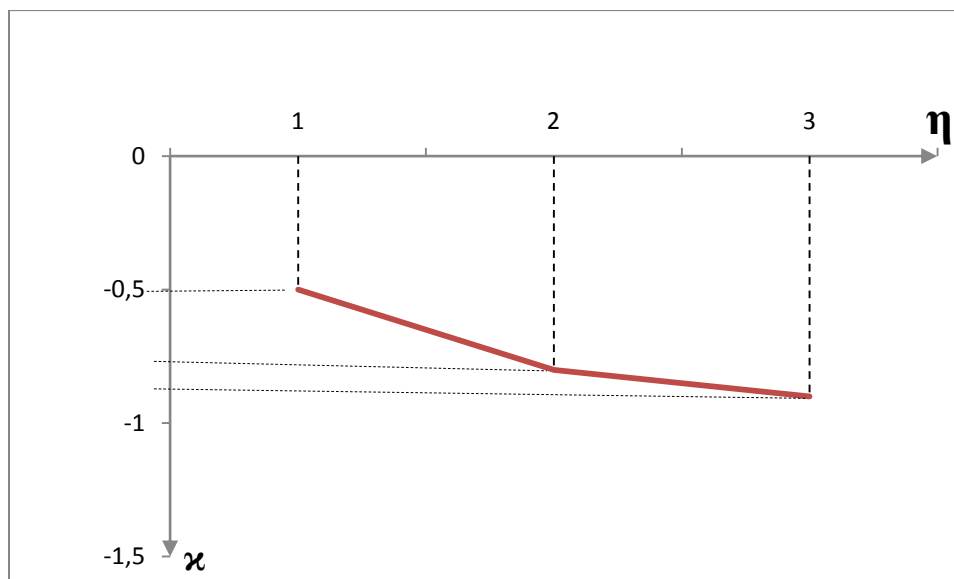


Рис.2. График для вычисления корректировочных величин η применительно к уравнению (5)

Очевидно, что соответствующие корректировочные процедуры также могут быть определены и для уравнений (6) и (7).

При этом, для уравнения (6) параметр κ будет последовательно обозначать значения:

$$\frac{\Delta b_1}{b_1}; \frac{\Delta b_2}{b_2} \text{ и } \frac{\Delta b_3}{b_3}$$

а для уравнения (7) соответственно:

$$\frac{\Delta c_1}{c_1}; \frac{\Delta c_2}{c_2} \text{ и } \frac{\Delta c_3}{c_3}$$

Заключение

Рассмотрены две задачи касающиеся дистанционного колориметрического определения содержания органических веществ в почве. Разработана методика определения количества органического углерода, основу которой составляет: (а) определение координат цветности по Манселю; (b) определение X, Y, Z координат и (c) определение R, G, B координат и вычисление SOC на базе индекса SOCI и корреляции между SOC и индексам SOCI.

Вторая задача относится к проведению корректировочных процедур из-за влияния аэрозоля на цветность дистанционных наследуемых объектов. Получены условия, при выполнении которых при последовательном переходе от RGB системы к XYZ системе погрешности координат этой системы будут скомпенсированы.

Список литературы

1. R.Escadafal. Remote sensing of arid soil surface color with Landsat thematic mapper. *Advances in Space Research. Volume 9, Issue 1*, 1989, Pages 159-163
2. Chen, Y. and Aviad, T. (1990) Effect of Humic Substances on Plant Growth. In: Maccarthy, P., Ed., Humic Substances in Soil and Crop Sciences: Selected Readings. American Society of Agronomy and Soil Sciences, Madison, 161-186.
3. Yadav, V., and G. Malanson,. (2007). Progress in soil organic matter research: Litter decomposition, modeling, monitoring and sequestration. *Prog. Phys.Geogr.* 31:131–154. *Prog. Phys.Geogr.* , 31:131–154.
4. Stoner, E.R., and M.F. Baumgardner. 1980. Physicochemical, site, and bi-directional reflectance factor characteristics of uniformly moist soils. LARS Technical Report 111679. Purdue Univ. West Lafayette, IN.
5. Coleman T., Montgomery O. (1987) - Soil moisture, organic matter and iron content effect on spectral characteristics of selected Vertisols and Alfisols in Alabama. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 53: 1659-1663.
6. Evan Thaler, Isaac Larsen and Qian Yu, A New Index for Remote Sensing of Soil Organic Carbon Based Solely on Visible Wavelengths, *Soil Science Society of America Journal*, 83(5), p. 1443-1450.
7. Lal, R. 2004. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *Science*, 304(5677): 1623-1627.
8. Escadafal, R. (1993) Remote Sensing of Soil Color: Principles and Applications. *Remote Sensing Reviews*, 7, 261-279.
9. Nocita, M., Stevens, A., Noon, C., Van Wesemael, B., 2012. Prediction of soil organic carbon for different levels of soil moisture using Vis-NIR spectroscopy. *Geoderma* 199, 37e42.
10. Stoner, E.R., Baumgardner, M.F., 1981. Characteristic variations in reflectance of surface soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45, 1161e1165
11. Fernandez RN, Schulze DG (1987) Calculation of soil colour from reflectance spectra. *Soil Science Society of America Journal* 51, 1277-1282
12. R. Escadafal and M. Pouget, Luminance spectrale et caractères de la surface des sols en région aride méditerranéenne (Sud tunisien), *I.T.C. Journal*, 19-23 (1 986).
13. G. Wyszecki and W.S. Stiles, Color science : conceDt and methods, auantitative data and formulae, Wiley, New York, 2nd edition, (1982).