

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ИНДЕКСА RI И КОЛОРИМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО СОДЕРЖАНИЯ ПОЧВЫ

КАЗЫМОВА Фаргана Таваккуль гызы, Национальное аэрокосмическое агентство

Анализируется взаимосвязь индекса RI и органического содержания почвы. Исследование известной модели взаимосвязи SOM и SOC , модели взаимосвязи SOC и R , G , B сигналов колориметра, а также полученных экспериментальных данных, применительно к почве аридных и полуаридных зон, позволило получить новое выражение для вычисления индекса RI в зависимости от результатов RGB колориметрических измерений цвета почвы.

Проверка точности вычисления по полученному выражению показала, что полученный результат имеет расхождение с результатами, полученными по известному выражению, равное 13 %, это с учетом неопределенности выбора одной из моделей взаимосвязи SOM и SOC можно считать приемлемым результатом. Изложены концептуальные основы построения кондуктометрически – колориметрического комплекса для оценки органического содержания почвы.

Введение. Почва является наиболее важным природным ресурсом, необходимым компонентом для жизни растений, животных, а также различных микроорганизмов. Одним из основных свойств почвы является наличие в ней органического вещества, что обеспечивает питательность почвы, необходимую для роста и развития растений. Осуществление надлежащего менеджмента органического содержания почвы (SOM) позволит усилить продуктивность сельского хозяйства и улучшить качество окружающей среды, уменьшить влияние различных природных бедствий, в том числе засухи, наводнения, болезни растений. Точное определение содержания органического вещества в почве является важной и актуальной задачей, так как с помощью этого показателя может быть осуществлен контроль баланса питательных веществ в системе сельскохозяйственного производства. С этой целью могут быть использованы средства дистанционного зондирования [2, 3, 7, 10, 11, 13, 15, 17, 18, 20].

Методика исследований. В разрабатываемом комплексе кондуктометрические измерения проводили с целью валидации результатов колориметрических измерений. Для калибровки кондуктометра были проведены экспериментальные исследования по определению SOM . Образцы почвы были взяты из опытных участков, откалиброванных по величине SOM на исследовательском участке Института почвоведения Академии наук Азербайджана. Территория расположения участка относится к аридной – семиаридной зоне. Среднегодовая максимальная температура здесь достигает 33°C , среднегодовая минимальная температура равна $3,5^\circ\text{C}$. Среднегодовые осадки находятся в пределах 390–470 мм, локальное испарение находится в пределах 65,0–44,50 мм.

Были взяты 200 образцов (проб) почвы. Образцы почвы засушили потоком воздуха, отсеивали через сита с диаметром отверстий 2 мм. Объемную плотность ($\text{т}/\text{м}^3$) измеряли на каждом горизонте почвы горизонтального слоя глубиной 1 м. Образцы просушивали при температуре 100°C в течение 18 ч.

Важным признаком для определения органического содержания почвы является ее цвет. Согласно [1, 14] с увеличением содержания органических веществ в почве цвет почвы смещается в сторону коротких длин волн, что может быть проконтролировано путем определения значения индекса почвы (RI). Следует отметить, что в научной литературе встречаются его разные определения. Так, например, согласно [14], применительно к каналам 2 и 3 ТМ для аридной почвы имеет место следующее определение:

$$RI = \frac{R-G}{R+G}, \quad (1)$$

где R – сигнал красного канала; G – сигнал зеленого канала ТМ.

При этом определение (1) трактуется как показатель зашумленности вычисленной исходной величины известного индекса $NDVI$ и для устранения шумов в этом индекса предлагается следующая оценка незашумленного разностного вегетационного индекса:

$$NDVI = NDVI - kRI, \quad (2)$$

где $k = 0,45$.

Вместе тем, в работах [8, 9, 16] изложено совершенно иное определение индекса RI и согласно [16], он предназначен для определения содержания гематита в почве. Согласно [9]:



$$RI = \frac{R^2}{BG^3}, \quad (3)$$

где B – сигнал синего канала.

При индексной оценки органических веществ в почве в основном используются два показателя: содержание органического углерода в почве (SOC);

содержание органических веществ в почве (SOM).

Вопросы взаимосвязи между показателями SOC и SOM для аридной и полуаридной почвы наиболее полно изложены в работах [4, 6, 12, 19].

Согласно [4], между SOC и SOM существует следующее линейное соотношение:

$$SOC = kSOM, \quad (4)$$

где k – постоянная Ван Беммелена.

Вместе с тем, согласно [6], значение k зависит от типа почвы.

В общем случае, согласно [4], существуют следующие модели взаимосвязи между SOC и SOM: линейная модель;

$$SOC = aSom + b; \quad (5)$$

логарифмическая модель

$$SOC = a \ln SOM + b; \quad (6)$$

полиномиальная модель

$$SOC = aSOM^3 + bSOM^2 + cSOM + d. \quad (7)$$

Согласно [16], между SOM и RI имеется отрицательная корреляция.

Соответствующее регрессионное уравнение имеет вид

$$SOM = 0,385 - 2,736RI, \quad (8)$$

где SOM дано в процентах.

Между SOC и значениями интенсивности сигнала R (красный), G (зеленый), B (синий) канала, согласно [5], имеется следующее соотношение:

$$SOC = \exp(a + bR + cG + dB). \quad (9)$$

Целями настоящей работы являлось: концептуальная разработка кондуктометрически – колориметрического комплекса для определения органического содержания почвы; получение новых математических выражений для определения органического содержания почвы, в том числе индекса RI; а также анализ колориметрической оценки цвета почвы и формирование инвариантного выражения, связывающего оценки R , G , B сигналов каналов и индекса RI.

Результаты исследований. Разрабатываемый кондуктометрически–колориметрический комплекс состоит из кондуктометра, предназначенного для проведения контактных измерений SOM, а также колориметра, проводящего RGB

измерения SOC в режиме проксимального зондирования. Логическая схема концептуальной разработки комплекса показана на рис. 1.

Назначение узлов, входящих в комплекс, следующее:

колориметр предназначен для проведения RGB измерений органического содержания почвы, оцениваемого индексом RI. Колориметр работает в режиме проксимального зондирования, т.е. в режиме зондирования с малых расстояний;

кондуктометр предназначен для проведения валидационных измерений SOM с целью дальнейшей проверки результатов измерения колориметра.

Построили 4-электродный кондуктометр, работающий по методу определения объемной электропроводимости почвы. Структурная схема всего комплекса, включающего кондуктометр, показана на рис. 2.

Устройство измерения объемной электропроводимости состоит из: 2-1 – первичный измеритель проводимости с формирователем нормированного входного сигнала АЦП; 2-2 – генератор переменного напряжения частотой 2 Гц; 2-3 – аналого-цифровой преобразователь; 2-4 – преобразователь напряжение–ток с выходной величиной тока 30 мА.

Кондуктометр работает следующим образом: в начальный момент измерения запускающий сигнал с компьютера поступает на управляющий вход генератора напряжения, вырабатывающего синусоидальный сигнал частотой 2 кГц. Этот сигнал усиливается в ПНТ по току до величины 20 мА, подаваемой в почву через штыревые контакты.

При составлении программного обеспечения вычисления объемной проводимости учитывали нелинейность характеристики «проводимость – содержание органических веществ». Экспериментально было установлено, что при увеличении содержания органических веществ от 20 до 100 кг/га электропроводимость растёт от 0,5 до 0,25 мС/м для разных типов почвы.

В программном обеспечении так же учитывали значительная зависимость проводимости от влажности почвы (рис. 3).

В качестве базовой модели взаимосвязи SOC и SOM было принято следующее соотношение:

$$SOC = k_1SOM, \quad (10)$$

где $k_1 = 0,58$.

Так как в работе [16] значения SOM вычисляются в процентах, которое обычно не превышает трех процентов, выражение (8) следует скорректировать для случая процентного выражения SOM в следующем виде:

$$SOM = 3,85 - 27,36RI. \quad (11)$$

Таким образом, с учетом выражений (9)–(11) получаем следующее результирующее соотношение

$$SOC = k(3,85 - 27,36RI). \quad (12)$$





Рис. 1. Концептуальная схема построения кондуктометрически-колориметрического комплекса для исследования органического содержания почвы

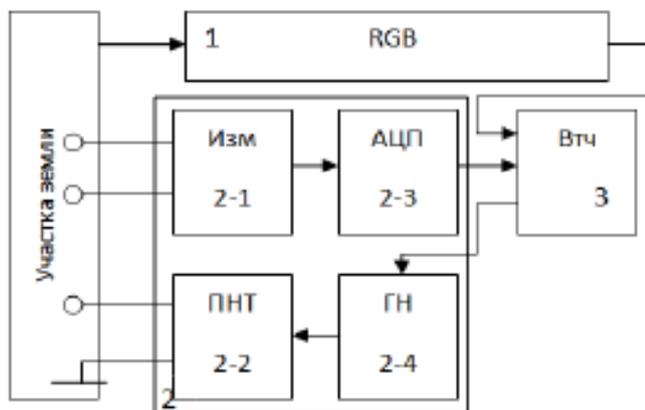


Рис. 2. Структурная схема кондуктометрически-колориметрического комплекса состоящего из следующих узлов: 1 – RGB колориметр; 2 – кондуктометр; 3 – компьютер

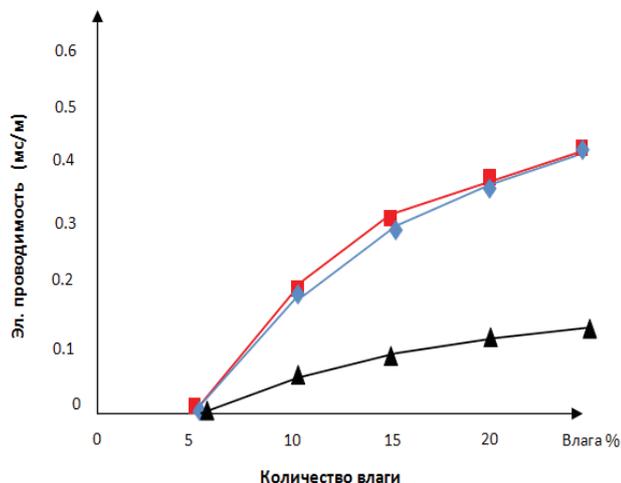


Рис. 3. Нормированные характеристики приращения проводимости в зависимости от количества влаги в почве, %

Из (12) с учетом (9) получаем выражение для вычисления RI

$$RI = \frac{3,85 - \frac{\exp(a + bR + cG + dB)}{k}}{27,36} \quad (13)$$

С учетом выражений (3) и (13) имеем:

$$\frac{R^2}{BG^3} + \frac{\exp(a + bR + cG + dB)}{k \cdot 27,36} = \frac{3,85}{27,36} \quad (14)$$

Таким образом, верность выражения (13) может быть проверено с помощью условия (14). Для проводимого проверочного модельного исследования примем следующие соотношения:

$$k = 0,58; b = 1/R; c = 1/G; d = 1/B. \quad (15)$$

В этом случае выражение (14) принимает следующий вид

$$\left(\frac{1}{b}\right)^2 + \frac{\exp(0,71499)}{0,58 \cdot 27,36} = \frac{3,85}{27,36} \quad (16)$$

Проведенные вычисления показали, что с учетом значений b, c, d , приведенных выше, точность выполнения условия (16) составляет 13 %, что для проводимых сравнительных модельных исследований является приемлемым результатом.

Очевидно, что некоторое усиление компоненты cG или ослабление компонентов bR и dB в выражении (13) привело бы к более точному выполнению условия (14). Другой возможностью выполнения условия (14) является использование моделей (5)–(7).

Таким образом, сравнительные исследования, проведенные на основе известных и полученных результатов применительно к почве аридных и полуаридных зон, позволили получить новое выражение для вычисления индекса RI цвета почвы. Показано, что при использовании известной модели взаимосвязи SOC и SOM, а также модельной зависимости SOC от R, G, B сигналов колориметра удается получить новое выражение для вычисления индекса RI.

Проверка точности вычисления по полученному выражению показала результат расхождения равный 13 %, что с учетом неопределенности выбора одного из моделей (5)–(7) можно считать приемлемым результатом.

Заключение. Автором разработана концептуальная основа построения кондуктометрически-колориметрического комплекса измерения органического содержания почвы. Предложенная структурная схема кондуктометрически-колориметрического комплекса предназначена для определения органического содержания почвы. Колориметр проводит RGB измерения, в результате которых определяется органическое содержание почвы, а валидация результатов измерений осуществляется кондуктометрическим



методом. В качестве методической базы функционирования комплекса получена новая формула зависимости индекса RI от результатов RGB измерений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Coleman T., Montgomery O. Soil moisture, organic matter and iron content effect on spectral characteristic of selected Vertisols and Alfisols in Alabama // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1987, Vol. 53, P. 1659–1663.

2. Dalai R.C., Henry R.J. Simultaneous determination of moisture, organic carbon and total nitrogen by near-infrared reflectance spectroscopy // Soil. Sci. Soc. Am. J., 1986, Vol. 50, P. 120–123.

3. Dehaan L.R., Taylor G.R. Field – derived spectra of salinized soils and vegetation as indicators of irrigation – induced soil salinization // Remote Sensing of Environment, 2002, Vol. 80, P. 406–417.

4. Erdal Sakin. Organic carbon organic matter and bulk density relationship in arid – semi soils in Southeast Anatolia region // African Journal of Biotechnology, 2012, 19 January, Vol. 11(6), P. 1373–1377. – URL: <http://www.academicjournals.org/AJB>.

5. Feng Chen, David E. Kissel, Larry T. West, Wayne Adkins. Field – scale mapping of surface soil organic carbon using remotely sensed imagery // Published in Soil Sci. Soc. Am. J., 2000, Vol. 64, P. 746–753.

6. Jain T.B., Graham R.T., Adams D.L. Carbon to organic matter ratios for soils in rocky Mountain coniferous forests // Soil Sci. Am. J., 1997, Vol. 61, P. 1190–1195.

7. Krishan P., Butler B.J., Hummel J.W. Close – range sensing of soil organic matter // Transaction of the American Society of Agriculture Engineers (ASAE), 1981, Vol. 24(2), P. 306–311.

8. Maryam Barzegar, Hamid Ebadi, Abbas Kiani. Comparison of different vegetation indices for very high – resolution images, specific case Ultracam-D imagery // The International Archives of the Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences, International Conference on Sensors & Models in remote Sensing & Photogrammetry, 2015, 23–25 November, Kish Island, Iran, 2015, Vol. XL-1/W5.

9. Mathieu R., Poughet M., Cervelle B., Escadafal R. Relationship between satellite – based radiometric indices simulated using laboratory reflectance data and typical soil color of an arid environment // Remote Sens. Environ, 1998, Vol. 66, P. 17–28.

10. Mohamed E.S., Saleh A.M., Belal A.B., Gad A. Application of near-infrared reflectance for quantitative assessment of soil properties // Egypt. J. Remote Sens. Space Sci, 2018, Vol. 21, P. 1–14.

11. Nocita M. et al. Soil Spectroscopy: An Alterna-

tive to Wet Chemistry for Soil Monitoring // Advances in Agronomy; Academic Press: Cambridge, MA, USA, 2015, Vol. 132, P. 139–159.

12. Perie C., Ouimet R. Organic carbon, organic matter and bulk density relationship in boreal forest soils // Can. J. Soil Sci., 2007, Vol. 88, P. 315–325.

13. Pitts M.J., Hummel J.W., Butler B.J. Sensor utilizing light reflection to measure soil organic matter // Transaction of the American Society of Agriculture Engineers (ASAE), 1986, Vol. 29(2), P. 422–428. <http://dx.doi.org/10.1303/2013.30166>.

14. Richard Escadafal, Alfredo R. Huete. Soil optical properties and environmental applications of remote sensing. – URL: [researchgate.net...17869435_Richard_Escadafal](https://researchgate.net/publication/317869435_Richard_Escadafal).

15. Stevens A., Nocita M., Toth G., Montanarella L., van Wesemael B. Prediction of Soil Organic Carbon at the European Scale by Visible and Near InfraRed Reflectance Spectroscopy // PLoS ONE, 2013, Vol. 8, e66409.

16. Umesh K. Mandal. Spectral color indices based geospatial modeling of soil organic matter in Chitwan district, Nepal // The International Archives of the Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Congress, 12–19 July, 2016. Prague, Czech Republic. Vol. XLI-B2, 2016. XXII ISPRS.

17. Vaudour E., Gilliot J.M., Bel L., Lefevre J., Chehdi K. Regional prediction of soil organic carbon content over temperate croplands using visible near-infrared airborne hyperspectral imagery and synchronous field spectra // J. Appl. Earth Obs. Geoinf., 2016, Vol. 49, P. 24–38.

18. Viscarra Rossel R.A., Behrens T. Using data mining to model and interpret soil diffuse reflectance spectra // Geoderma, 2010, Vol. 158, P. 46–54.

19. Westman C.J., Hytonen J., Wall A. Loss – on ignition in the determination of pools of organic carbon in soils of forests and afforested arable fields // Commun. Soil. Sci. Plant Anal., 2006, Vol. 37, P. 1059–1075.

20. Xu Y., Smith S.E., Grunwald S., Abd-Elrahman A., Wani S.P. Incorporation of satellite remote sensing pan-sharpened imagery into digital soil prediction and mapping models to characterize soil property variability in small agricultural fields // ISPRS J. Photogramm. Remote Sens., 2017, Vol. 123, P. 1–19.

Казимова Фаргана Таваккуль гызы, аспирант, Национальное аэрокосмическое агентство. Азербайджанская Республика.

AZ1115, Азербайджанская Республика, г. Баку, ул. Ахундова Сулеймана Сали, 1.

Тел.: (99450)32-472-40;

e-mail: fergane.kazimova@mail.ru.

Ключевые слова: индекс RI; содержание органического вещества в почве; органический углерод; органические вещества; модель.

RESEARCH OF INTERRELATION OF RI INDEX AND COLORIMETRIC PARAMETERS OF MEASUREMENTS OF SOIL ORGANIC CONTENT

Kazimova Fargana Tavakkul gyzy, Post-graduate Student, National Aerospace Agency, Azerbaijan Republic

Keywords: RI index; soil organic content; organic carbon; organic matter; model

In the article the interrelation of RI index and soil organic content is studied. Research of known model of interrelation of SOM and SOC, and also model of interrelation of SOC and R,G,B signals of colorimeter and obtained experimental data relating soil of arid and semiarid zones make it possible to de-

rive the new formula for calculation of RI index in dependence of results of RGB colorimetric measurements of soil color. Check up of accuracy of calculation on obtained formula does show that result of calculation on new formula differ from results on known formula by 13% which taking into consideration of non-certainty of choice of any model of interrelation of SOM and SOC can be considered as acceptable. The conceptual basis for construction of conductmeter-colorimetric complex for estimation of soil organic content is described.

