



УДК 621.369.9

ДИСТАНЦИОННЫЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКИ-ЭКСТРЕМАЛЬНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ

Г. Р. Бабаева¹¹Национальное Аэрокосмическое Агентство, г. Баку, Азербайджанская Республика

Отмечено, что несмотря на возможность охвата больших территорий, временные и пространственные разрешения спутниковых методов определения влажности почвы часто оставляют желание еще более улучшить эти показатели. Известные методы для вычисления влажности почвы требуют дополнительного вычисления вегетационных индексов. В статье предложен параметрически-экстремальный метод определения влагосодержания, в котором влажность почвы определяется путем поиска экстремума некоторого параметрического показателя. Составлен алгоритм реализации предлагаемого экстремально-параметрического метода. Проведено модельное исследование, подтвердившее работоспособность предложенного метода.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: влажность, почва, вегетационные индексы, параметрический метод, пространственное разрешение.

<https://elibrary.ru/tnayeh>

1. ВВЕДЕНИЕ

Влагосодержание почвы является важнейшим показателем, используемым в сельском хозяйстве, и других сферах природообустройства. Влажность почвы может быть измерено прямыми и косвенными методами, которые также могут быть классифицированы как контактные и бесконтактные методы соответственно. Точность контактных методов достаточно высока, однако их реализация, в особенности на больших сельскохозяйственных полях, сопряжена большими материальными затратами [Ahmad et al., 2021; Arsenault et al., 2018]. Что касается бесконтактных методов, то здесь могут быть применены методы дистанционного [Gelaro et al., 2017; Goddard..., 2010; Hauser et al., 2017] и проксимального [Kumar et al., 2020; Kwon et al., 2019] зондирования.

Дистанционные методы определения влагосодержания почвы реализуются с использованием спутников дистанционного зондирования [Jalilvand et al., 2019; O'Neill et al., 2019], беспилотных летательных аппаратов [Lu et al., 2020; Ding et al., 2023], самолетов лабораторий [Ismatova et al., 2019]. Проксимальное зондирование, реализуемое с дистанции нескольких метров, осуществляется с использованием различных перемещаемых механизмов в качестве носителя измерительной аппаратуры [Adamchuk et al., 2017]. Основное преимущество спутниковых методов неоспоримо и заключается в возможности охвата чрезвычайно больших территорий. Вместе с тем, временные и пространственные разрешения спутниковых методов часто оставляют желание еще более улучшить эти показатели.

Электронная почта авторов для переписки:

Бабаева Гюльшен Рауф гызы, e-mail: asadzade@rambler.ru



<https://elibrary.ru/tnayeh>

Адрес редакции журнала
«Гелиогеофизические исследования»:

ФГБУ «ИПГ»
129128; Россия, Москва
ул. Ростокинская, 9.
e-mail: vestnik@ipg.geospace.ru

Первые работы по спутниковым методам определения влагосодержания почвы [Takeuci and Yasuoka, 2004; Wang, 2005] базировались на данных Landsat TM и MODIS с использованием соответствующей математической модели для оценки влажности земли. Для этой цели был предложен индекс яркости почвы (SBI) [Dirgahayu, 1997], улучшенный вегетационный индекс (EVI), индекс температуры земной поверхности (LST), которые появились после реализации проекта MODIS. Например, для определения влагосодержания почвы на базе данных MODIS, таких как коэффициент отражения и температура поверхности Земли (LST), осуществляются такие операции как геометрическая коррекция, атмосферная коррекция, коррекция LST, коррекция коэффициента отражения, оцениваются значения таких индексов, связанных с влагосодержанием, как NDVI, EVI, NDWI, SBI. Для получения результирующих оценок широко используются результаты корреляционного и регрессионного анализа статистической связи между влагосодержанием почвы и значениями вышеуказанных индексов.

Так, например, вычисление индекса EVI осуществляется по формуле:

$$EVI = \frac{2,5 \cdot (\rho_2 - \rho_1)}{1 + \rho_2 + 6\rho_1 - 7,5\rho_3}, \quad (1)$$

где ρ_1, ρ_2, ρ_3 -коэффициенты отражения в красном, ближнем инфракрасном и синем спектральном диапазонах MODIS.

После вычисления вышеуказанных индексов, используя данные отраженных сигналов соответствующих каналов MODIS, также используя данные о температуре поверхности земли (LST), используя различные методы регрессионного анализа разрабатывались различные модели для вычисления влагосодержания почвы. Так, например, согласно [Domirgi, 2013] указанная модель имеет вид:

$$LM = -16,8 - 0,934\rho_2 - 15,9 \cdot EVI/LST. \quad (2)$$

Вместе с тем, модели типа (2) предусматривают дополнительное вычисление вегетационных индексов. Так, например, для вычисления EVI согласно (1) необходимо иметь данные ρ_1, ρ_2, ρ_3 .

Здесь может быть предложен альтернативный вариант определения влагосодержания по параметрически экстремальному методу, в котором влагосодержание определяется путем поиска экстремума вновь предлагаемого параметрического показателя.

2. ОПИСАНИЕ МЕТОДА

Для изложения предлагаемого параметрически-экстремального метода определения влагосодержания почвы рассмотрим основные результаты регрессионного анализа связи сигналов каналов ρ_1, ρ_2, ρ_3 с показателем влагосодержания. Соответствующие графические материалы показаны на рисунках 1, 2, 3. Как видно из данных, приведенных на этих рисунках, коэффициент детерминации при использовании NIR канала оказывается достаточно низким. Однако, в методическом плане, предлагаемый метод не ограничивается только данными MODIS. Так, например, согласно работе [Negahbani et al, 2022], комбинирование данных MODIS и landsat 8 в этом диапазоне позволяет улучшить корреляцию при коэффициенте детерминации равной 0,73.

Соответствующие регрессионные уравнения между влагосодержанием (y) и каналами MODIS (x_i), $i = \overline{1,3}$ имеют следующий вид:

Для канала Red (x_1):

$$y = -4,8486x_1 + 86,258 \quad (3)$$

при $R^2 = 0,5047$.

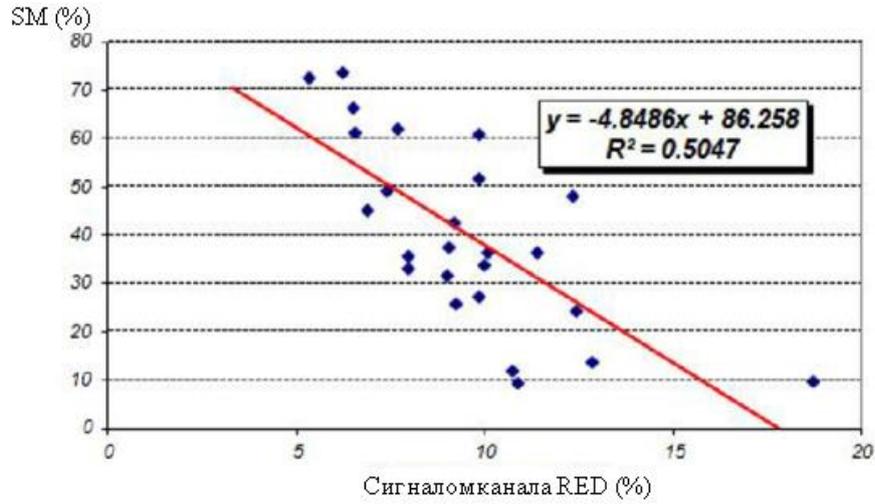


Рис. 1. Графическое отображение данных регрессионной связи между сигналом канала Red (ρ_1) MODIS и влажностью почвы (SM)

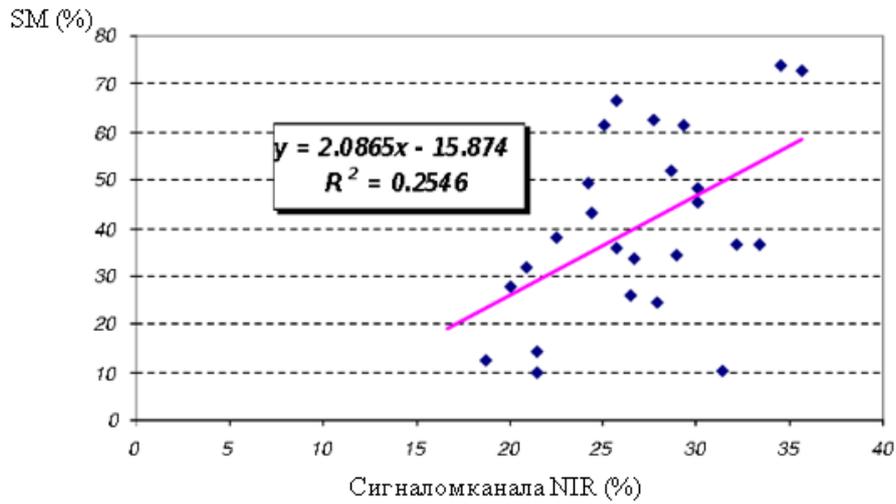


Рис. 2. Графическое отображение данных регрессионной связи между сигналом канала NIR (ρ_2) MODIS влажностью почвы SM

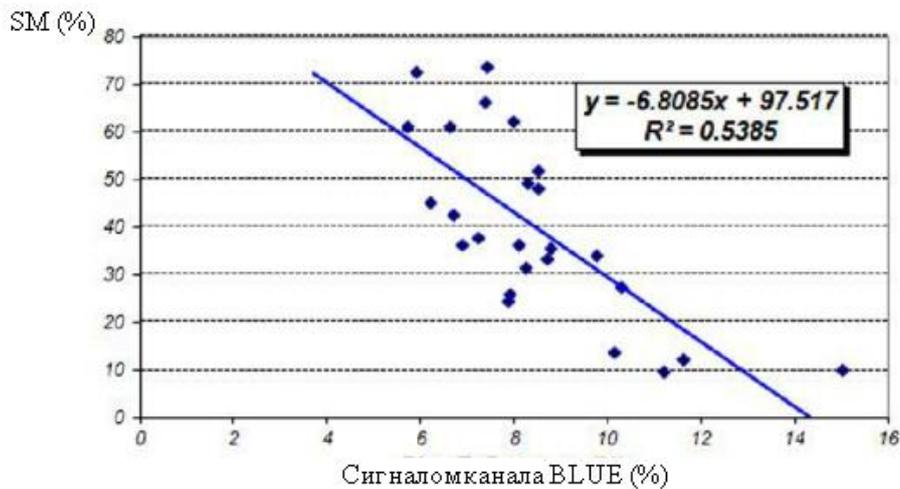


Рис. 3. Графическое отображение данных регрессионной связи между сигналами канала Blue (ρ_3) и влажностью почвы

Для канала NIR (x_2):

$$y = 2,0865x_2 - 15,874 \quad (4)$$

при $R^2 = 0,2546$.

Для канала Blue (x_3):

$$y = -6,8085x_3 + 97,517 \quad (5)$$

при $R^2 = 0,5385$.

С учетом (3)-(5) предлагаемый экстремальный параметрический индекс имеет вид:

$$\beta = NIR \cdot BLUE - k_{reg} \cdot RED, \quad (6)$$

где k_{reg} -коэффициент регулирования.

С учетом (3) и (6) показатель RED определим как:

$$RED = x_1 = \frac{86,258 - y}{4,8486} = a_{1r} - a_{2r}y, \quad (7)$$

где $a_{1r} = \frac{86,258}{4,8486}$; $a_{2r} = \frac{1}{4,8486}$.

С учетом (4) и (6) показатель NIR определим как:

$$NIR = x_2 = \frac{y + 15,874}{2,0865} = a_{3N}y + a_{4N}, \quad (8)$$

где $a_{3N} = \frac{1}{2,0865}$; $a_{4N} = \frac{15,874}{2,0865}$.

С учетом (5) и (6) показатель BLUE определим как:

$$BLUE = x_3 = \frac{97,517 - y}{6,8085} = a_{5B} - a_{6B}y, \quad (9)$$

где $a_{5B} = \frac{97,517}{6,8085}$; $a_{6B} = \frac{1}{6,8085}$.

С учетом (6), (7), (8), (9) имеем:

$$\beta = (a_{3N}y + a_{4N}) \cdot (a_{5B} - a_{6B}y) - k_{reg}(a_{1r} - a_{2r}y). \quad (10)$$

Выражение (10) перепишем в виде:

$$\beta = d_1y^2 + d_2y + d_3, \quad (11)$$

где:

$$d_1 = -a_{3N} \cdot a_{6B} \quad (12)$$

$$d_2 = a_{3N}a_{5B}a_{4N}a_{6B} + k_{reg}a_{2r} \quad (13)$$

$$d_3 = a_{5B}a_{4N} - k_{reg}a_{1r} \quad (14)$$

Предлагаемый метод предусматривает аппаратное определение такой величины k_{reg} , при которой выполняется условие:

$$\frac{d\beta}{dy} = 0. \quad (15)$$

С учетом (11) и (15) получаем:

$$\frac{dB}{dy} = 2d_1y + d_2. \tag{16}$$

Приравнивая (16) нулю, с учетом (12)-(14) получаем следующее выражение для вычисления y :

$$y = \frac{a_{3N}a_{5B} - a_{4N}a_{6B} + k_{reg}a_{2r}}{-2a_{3N}a_{6B}} \tag{17}$$

3. МОДЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Допустим, что на выходе дифференциатора, фиксация условия $\frac{dB}{dy} = 0$ осуществлена при $k_{reg,0} = 3,5$. С учетом (17) получаем:

$$y = \frac{\frac{1}{2,085} \cdot \frac{97,517}{6,8085} - \frac{15,874}{2,0865} - 3,5 \cdot \frac{1}{4,8486}}{-\frac{2}{2,0865} \cdot \frac{1}{6,8085}} = 75\%$$

Таким образом, согласно модельным подсчетам если экстремум показателя β достигается при $k_{reg} = 3,5$, то это эквивалентно влагосодержанию $\approx 75\%$.

Алгоритм реализации предлагаемого экстремально-параметрического метода показан на рисунке 4.

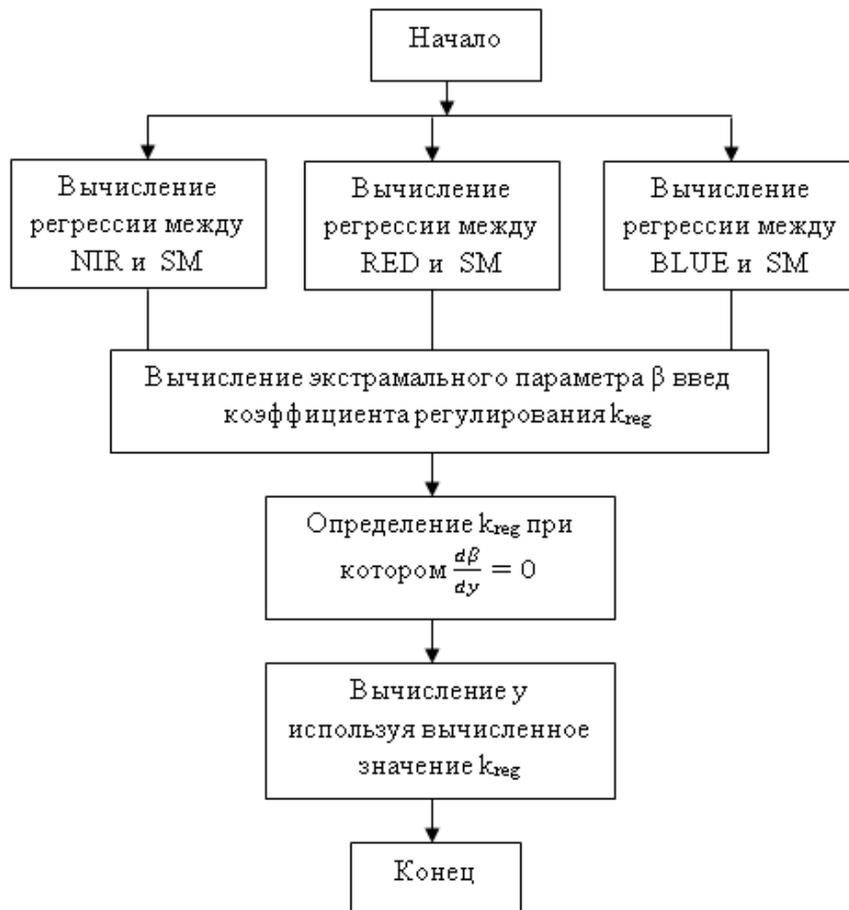


Рис. 4. Блок-схема алгоритма реализации предложенного метода

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основное преимущество спутниковых методов заключается в возможности охвата больших территорий. Однако временные и пространственные разрешения спутниковых методов часто оставляют желание еще более улучшить эти показатели. Существующие модели для вычисления влажности почвы предусматривают дополнительное вычисление вегетационных индексов. В работе предложен вариант определения влагосодержания по параметрически-экстремальному методу, в котором влагосодержание определяется путем поиска экстремума вновь введенного параметрического показателя. Составлен алгоритм реализации предлагаемого экстремально-параметрического метода. Проведено модельное исследование, подтвердившее работоспособность предложенного метода.

ЛИТЕРАТУРА

- Adamchuk V. I., Allred B., Doolittle J., Grote K., Viscarra Rossel R. A. *Tools for proximal soil sensing*. 2017.
- Ahmad J. A., Forman B. A., Kumar S. V. *SMAP soil moisture assimilated Noah-MP model output// DRUM*. 2021.
- Arsenault K. R., Kumar S. V., Geiger J. V., Wang S., Kemp E., Mocko D. M., Beaudoin H. K., Getirana A., Navari M., Li B., Jacob J., Weigel J., Peters-Lidard C. D. *The land surface data toolkit (LTD v7.2) – a data fusion environment for land data assimilation systems// Geosci. Model Dev. 11, 2018. Pp. 3605-3621.*
- Ding R., Jin H., Xiang D., Wang X., Zhang Y., Shen D., Su L., Hao W., Tao M., Wang X., Zhou C. *Soil moisture sensing with UAV-mounted IR-UWB radar and deep learning//Proceedings of the ACM on interactive*. 2023.
- Dirgahayu D. *The use of optical and radar data to predict soil moisture (case study on sugarcane plantation)// Project of planning and improvement. Lapan, Jakarta. 1997.*
- Domiri D. D. *Development of land moisture estimation model using modis infrared, thermal, and evi to detect drought at paddy field// International journal of remote sensing and earth sciences. Vol. 10. No 1. June 2013. Pp. 47-54.*
- Gelaro R., McCarty W., Suarez M. J., Todling R., Molod A., Takacs L., Randles C. A., Darmenov A., Bosilovich M. G., Reichle R., Wargan K. *The modern-era retrospective analysis for research and applications// Version 2. J. Climate. 30. 5419-5454. 2017.*
- Goddard Space Flight Center: *FluxSAT gross primary production, aura validation data center NASA// 2010.*
- Hauser M., Orth R., Senevirante S. I. *Investigation soil moisture-climate interactions with prescribed soil moisture experiments: an assessment with the community earth system model// Geosci. Model Dev. 10. 1665-1677. 2017.*
- Ismatova K. R., Badalova A. N., Ismailov A. I., Aliyev Z. H., Talibova S. S. *Using aerospace methods in soil research// Archives biomedical engineering & Biotechnology. 2019. Doi:10.33552/ABEB.2019.02.000545.*
- Jalilvand E., Tajrishy M., Hashemi S. A. G. Z., Brocca L. *Quantification of irrigation water using remote sensing of soil moisture in a semi-arid region// Remote Sens. Environ. 231. 111226. https://doi.org/10.3398/feart.2019.00235. 2019.*
- Kumar S. V., Holmes T. R., Blindish R., Peters-Lidard C. *Assimilation of vegetation optical depth retrievals from passive microwave radiometry// Hydrol. Earth Syst. Sci. 24. 3431-3450. 2020.*
- Kwon Y., Forman B. A., Ahmad J. A., Kumar S. V., Yoon Y. *Exploring the utility of machine learning-based passive microwave brightness temperature data assimilation over terrestrial snow in high mountain Asia// Remote Sensing. 11. 2265. 2019.*
- Lu F., Sun Y., Hou F. *Using UAV visible images to estimate the soil moisture of steppe// Water 2020. 12. 2334.*
- Negahbani, S., Momeni, M. & Moradzadeh, M. *Improving the Spatiotemporal Resolution of Soil Moisture through a Synergistic Combination of MODIS and LANDSAT8 Data. Water Resour Manage 36, 1813–1832 (2022). https://doi.org/10.1007/s11269-022-03108-1.*
- O'Neill P. E., Chan S., Njoku E. G., Jackson T., Bindlish R., Chaubell J. *SMAP L3 radiometer global daily 36 km EASE-Grid Soil moisture// Version 8. NSIDC. 2019.*
- Takeuci W., Yasuoka Y. *Development of normalized vegetation, soil and indices derived from satellite remote sensing data// Proceeding of 25th ACRS. 2004. Pp. 859-864.*

-
- Wang X. *Relation between ground-based soil moisture and satellite image based NDVI// Earth and environmental science department. University of Texas at San Antonio. 2005.*

REMOTE PARAMETRICALLY EXTREME METHOD FOR DETERMINING SOIL MOISTURE

Babaeva G.R.

It is noted that despite the possibility of covering large areas, the temporal and spatial resolutions of satellite methods for determining soil moisture often leave a desire to further improve these indicators. Known methods for calculating soil moisture require additional calculation of vegetation indices. The article proposes a parametric extreme method for determining moisture content in which soil moisture is determined by searching for the extremum of a certain parametric indicator. An algorithm for the implementation of the proposed extreme parametric method has been compiled. A model study was conducted that confirmed the efficiency of the proposed method.

KEYWORDS: HUMIDITY, SOIL, VEGETATION INDICES, PARAMETRIC METHOD, SPATIAL RESOLUTION.