

Шане Низами гызы ДЖАХИДЗАДЕ¹

УДК 528.88:502.37

МЕТОД КОМПЕНСАЦИИ ЭФФЕКТА НАСЫЩЕНИЯ НОРМАЛИЗОВАННОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ВЕГЕТАЦИОННОГО ИНДЕКСА В ДИСТАНЦИОННОМ ЗОНДИРОВАНИИ

¹ докторант, Национальное аэрокосмическое агентство Азербайджана (г. Баку)
zshane@mail.ru

Аннотация

Рассмотрена возможность разработки нового метода компенсации эффекта насыщения нормализованного дифференциального вегетационного индекса в дистанционном зондировании. Проанализирована возможность совместного использования индексов NDVI и WDV I для снижения нелинейности функций регрессионной зависимости индекса LAI от этих индексов. Показано, что метод графического суммирования функций $LAI = f_1(NDVI)$ и $LAI = f_2(WDV I)$ с переменной мест аргумента и функции одной из указанных функциональных зависимостей приводит к существенному уменьшению нелинейности полученной суммарной функциональной зависимости. Синтезирован совместный $f(NDVI, WDV I)$ индекс, находящийся в более высокой степени линейной зависимости от LAI, чем NDVI и WDV I в отдельности.

Ключевые слова

Насыщение, вегетационный индекс, дистанционное зондирование, водяной пар, аэрозоль.

DOI: 10.21684/2411-7927-2019-5-1-20-28

Цитирование: Джахидзаде Ш. Н. Метод компенсации эффекта насыщения нормализованного дифференциального вегетационного индекса в дистанционном зондировании / Ш. Н. Джахидзаде // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2019. Том 5. № 1. С. 20-28.
DOI: 10.21684/2411-7927-2019-5-1-20-28

Введение

Как отмечается в работе [6], первые исследования по изучению спектральных характеристик растений были проведены в 1913 г. Уилетаттером и Столлом. Ими было изучено взаимодействие оптического излучения различной длины волны и растительности. В настоящее время известны многочисленные исследования по формированию различных вегетационных индексов, в которых в основном используются оптические сигналы на длинах волн, соответствующих ближнему инфракрасному (NIR) диапазону и красной зоне (R). Отражение растительности в красной зоне сильно зависит от содержания хлорофилла в растениях: чем больше хлорофилла, тем меньше отражения. В свою очередь, отражение растительности в NIR-диапазоне обусловлено внутренней структурой клеток растений: чем здоровее растение, тем больше отражения.

Наиболее распространенными вегетационными индексами являются LAI и NDVI, при этом, как показывают многочисленные исследования, при LAI > 3 происходит насыщение NDVI.

Согласно [6], отражение растительности в NIR- и R-диапазонах несет информацию о следующих показателях:

- типе растительности, форме, угле наклона;
- «архитектуре» растительной продукции;
- этапе цикла развития;
- содержании пигмента в листьях (содержании хлорофилла, каротена, ксантофилла и др.);
- водном содержании и др.

Вместе с тем атмосфера значительно влияет на радиацию, достигающую измерительного прибора. Для учета влияния атмосферы на расчетную величину вегетационных индексов часто используется сигнал синего диапазона.

Как указывается в работах [2, 4, 5, 9, 10], индекс листевой площади (LAI) является одним из наиболее информативных вегетационных индексов и позволяет объективно оценить состояние развития растительности. Тем не менее оценка LAI применительно к низкорослым растениям сопряжена с технологическими трудностями, и указанная проблема часто решается другим способом — путем косвенной оценки LAI с помощью NDVI. Так, согласно [5], в результате исследования полуаридных луговых полей в Монгольской провинции Китая было получено следующее выражение, связывающее LAI и NDVI:

$$\text{LAI} = 0,128 \cdot \exp\left(\frac{\text{NDVI}}{0,311}\right). \quad (1)$$

Как отмечается в работе [8], во избежание недостатка NDVI, заключающегося в насыщении при высоких значениях LAI, следует использовать индекс WDV, определяемый как

$$\text{WDV} = \text{NIR} - g \cdot \text{Red}, \quad (2)$$

где NIR — сигнал отражения в зоне ближнего ИК-диапазона (0,77-0,86 мкм); Red — сигнал отражения в зоне красного (0,62-0,86 мкм); g — крутизна почвенной линии.

Согласно работе [7], индекс WДVI был сформирован на базе индекса РVI, определяемого по формуле:

$$PVI = (\sin \alpha) \cdot NIR - (\cos \alpha) \cdot R, \quad (3)$$

где α — угол между почвенной линией и осью NIR.

Индекс WДVI, в отличие от РVI, позволяет избежать больших значений, получаемых при вычислении РVI. В то же время WДVI подвержен влиянию нестациональности атмосферы.

Как указывается в работе [1], такое влияние обусловлено воздействием суммарного водяного пара и аэрозоля.

Согласно [3], индекс WДVI был предложен исходя из предположения, что у многих типов почвы отношение отраженного сигнала в инфракрасном диапазоне к такому же сигналу в красном диапазоне остается постоянным, независимо от степени влажности почвы.

Методы и результаты исследования

Целью настоящей статьи является исследование возможности разработки новой методики компенсации эффекта насыщения NDVI при высоких значениях LAI путем применения индекса WДVI в качестве компенсирующего фактора.

Задачами исследования являются:

- 1) разработка методики уменьшения нелинейности функциональной зависимости $LAI = f_1(NDVI)$;
- 2) синтез нового комбинированного индекса, обладающего меньшей нелинейностью указанной функциональной зависимости путем использования компенсирующего воздействия индекса WДVI.

Рассмотрим пути решения вышеуказанных задач. Согласно [3], Клеверсом была разработана упрощенная модель отраженных сигналов растительности. Согласно этой модели WДVI вычисляется по формуле:

$$WДVI = r_{i1} - C_r, \quad (4)$$

где r_{i1} — суммарный отраженный сигнал в близком ИК-диапазоне.

C_r определяется как

$$C_r = \frac{r_{s,ir}}{r_{s,r}}, \quad (5)$$

где $r_{s,ir}$ — отраженный от почвы сигнал в близком ИК-диапазоне; $r_{s,r}$ — отраженный от почвы сигнал в красной зоне.

Согласно вышеуказанной модели, между WДVI и LAI существует следующая функциональная зависимость:

$$LAI = -\left(\frac{1}{\alpha}\right) \ln\left(1 - \frac{WДVI}{LAI}\right). \quad (6)$$

Показатели α и $r_{\infty,ir}$ должны быть определены эмпирическим путем.

Регрессионные линии зависимости LAI от WДVI показаны на рис. 1 (при разных значениях α) и рис. 2 (при разных значениях $r_{\infty,ir}$).

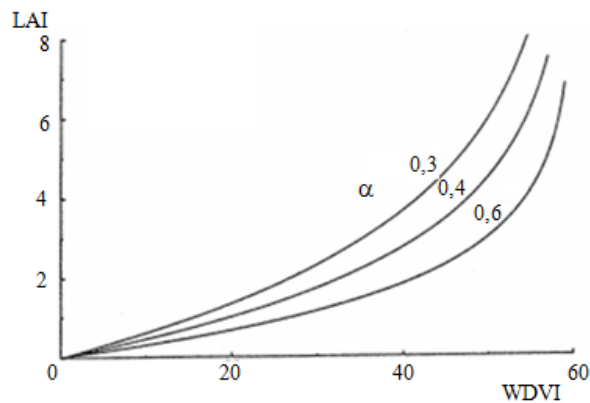


Рис. 1. Кривые регрессионной зависимости LAI от WDVl при разных значениях α

Fig. 1. The curves of the regression dependence LAI on WDVl at different α values

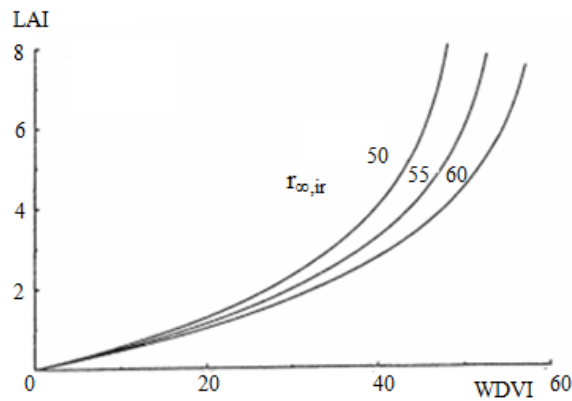


Рис. 2. Кривые регрессионной зависимости LAI от WDVl при разных значениях $r_{\infty,ir}$

Fig. 2. The curves of the regression dependence LAI on WDVl at different $r_{\infty,ir}$ values

Выражение (1) в общем случае запишем как

$$LAI_1 = a_1 \exp \frac{NDVI}{a_2}, \quad (7)$$

где $a_1 = 0,128$; $a_2 = 0,311$.

Далее проведем масштабирование LAI_1 и $NDVI$ в выражении (7) и запишем его в следующем виде:

$$\kappa_1 \cdot LAI_1 = \kappa_1 \cdot a_1 \exp \frac{\kappa_2 \cdot NDVI}{\kappa_2 \cdot a_2}. \quad (8)$$

Очевидно, выражения (7) и (8) — одно и то же.
Постоянные κ_1 и κ_2 выберем из следующих условий:

$$\kappa_1 LAI_{1\max} = WDV_{1\max}, \quad (9)$$

$$\kappa_2 NDVI_{\max} = LAI_{1\max}, \quad (10)$$

при индексах $LAI_{1\max} = 8, \quad (11)$

$$NDVI_{\max} = 1, \quad (12)$$

$$WDV_{1\max} = 60. \quad (13)$$

Из выражений (9)-(13) получим:

$$\kappa_1 = \frac{WDV_{1\max}}{LAI_{1\max}} = \frac{60}{8} = 7,5, \quad (14)$$

$$\kappa_2 = \frac{LAI_{1\max}}{NDVI_{\max}} = \frac{8}{1} = 8. \quad (15)$$

Графическую зависимость функции

$$\kappa_1 = LAI_1 = f(\kappa_2 \cdot NDVI) \quad (16)$$

нанесем на график функции (6), поменяв места аргумента и функции, т. е. осуществим следующую операцию:

$$\begin{aligned} & \text{функция выражения (6) + аргумент выражения (8) =} \\ & = \text{аргумент выражения (6) + функция выражения (8).} \end{aligned} \quad (17)$$

В результате графического выполнения операции (17) получим:

$$LAI + \kappa_2 NDVI = -\left(\frac{1}{\alpha}\right) \cdot \ln\left(1 - \frac{WDVI}{r_{\infty,ir}}\right) + \kappa_1 LAI_1. \quad (18)$$

Из выражения (18) при условии $LAI = LAI_1 = LAI_0$ находим:

$$LAI_0(1 - \kappa_1) = -\left[\kappa_2 NDVI + \ln\left(1 - \frac{WDVI}{r_{\infty,ir}}\right)^{\frac{1}{2}}\right]. \quad (19)$$

Из выражения (19) находим:

$$LAI_0 = \frac{\kappa_2 NDVI + \ln\left(1 - \frac{WDVI}{r_{\infty,ir}}\right)^{\frac{1}{2}}}{\kappa_1 - 1}. \quad (20)$$

Проанализируем выражение (20). При росте LAI_0 в зоне малых значений LAI_0 будет происходить почти линейный рост $NDVI$. Однако, т. к. при этом $WDVI$ будет стремительно расти, в результате скорость роста $NDVI$ значи-

тельно уменьшится. В зоне роста LAI_0 при больших значениях LAI_0 будет происходить обратный процесс, т. е. фактическое насыщение WDVІ приведет к дополнительному росту NDVI, также входящему в свою зону насыщения. Вышеуказанный процесс условно отображен на рис. 3.

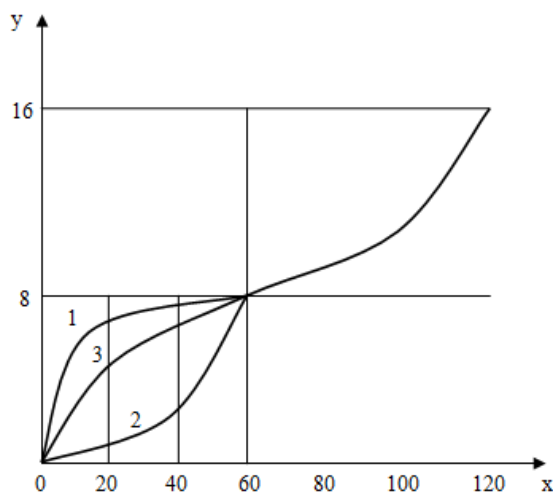


Рис. 3. Условное отображение функций (7), (8) и (18)

Fig. 3. Conventional depiction of the functions (7), (8), and (18)

Примечания: 1 — функция (8),
2 — функция (7), 3 — функция (18).

Notes: 1 — function (8), 2 — function (7),
3 — function (18).

Принятые обозначения:

$$x = -\left(\frac{1}{\alpha}\right) \cdot \ln\left(1 - \frac{WDVI}{r_{\infty,ir}}\right) + \kappa_1 LAI_1, \quad y = LAI + \kappa_2 NDVI.$$

Как видно из условного графического отображения результата операции (17) и графического сложения функций (7) и (8), нелинейность функции, обозначенной линией 3, значительно меньше, чем нелинейность функций, отображенных на графике линиями 1 и 2.

Выводы

Следовательно, графоаналитическим путем синтезированная функция (20) может быть представлена в качестве линеаризованного комбинированного индекса $LAI_0 = \varphi(NDVI, WDVІ)$, обладающего более высокой информативностью, чем NDVI и WDVІ, взятые в отдельности.

В заключение сформулируем основные выводы проведенного исследования.

1. Проанализирована возможность совместного использования индексов NDVI и WDVІ для снижения нелинейности функций регрессионной зависимости индекса LAI от этих индексов.

2. Показано, что метод графического суммирования функций $LAI = f_1(NDVI)$ и $LAI = f_2(WDVI)$ с переменной мест аргумента и функции одной из указанных функциональных зависимостей приводит к существенному уменьшению нелинейности полученной суммарной функциональной зависимости.
3. Синтезирован совместный $f(NDVI, WDVI)$ индекс, находящийся в более высокой степени линейной зависимости от LAI, чем NDVI и WDVI в отдельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Basso B. Remotely sensed vegetation indices: theory and applications for crop management / B. Basso, D. Cammarano, P. De Vita // *Rivista Italiana di Agrometeorologia*. 2004. No 1. Pp. 36-53.
2. Clevers J. G. P. W. Application of a weighted infrared-red vegetation index for estimating leaf Area Index by Correcting for Soil Moisture / J. G. P. W. Clevers // *Remote Sensing of Environment*. 1989. Vol. 29. No 1. Pp. 25-37. DOI: 10.1016/0034-4257(89)90076-X
3. Clevers J. G. P. W. Application of the WDVI in estimating LAI at the generative stage of barley / J. G. P. W. Clevers // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 1991. Vol. 46. No 1. Pp. 37-47. DOI: 10.1016/0924-2716(91)90005-G
4. Clevers J. G. P. W. The derivation of a simplified reflectance model for the estimation of leaf area index / J. G. P. W. Clevers // *Remote Sensing of Environment*. 1988. Vol. 25. No 1. Pp. 53-69. DOI: 10.1016/0034-4257(88)90041-7
5. Fan L. Investigating the relationship between NDVI and LAI in semi-arid grassland in Inner Mongolia using in-situ measurements / L. Fan, Y. Gao, H. Brück, Ch. Bernhofer // *Theoretical and Applied Climatology*. 2009. Vol. 95. No 1-2. Pp. 151-156. DOI: 10.1007/s00704-007-0369-2
6. Mroz M. Comparison of several vegetation indices calculated on the basis of a seasonal SPOT XS time series, and their suitability for land cover and agricultural crop identification / M. Mroz, A. Sobieraj // *Technical Sciences*. 2004. No 7. Pp. 39-66.
7. Naji T. A. H. Study of vegetation cover distribution using DVI, PVI, WDVI indices with 2D-space plot / T. A. H. Naji // *Journal of Physics: Conference Series*. 2018. Vol. 1003. No 1. 012083. DOI: 10.1088/1742-6596/1003/1/012083
8. Srinivas P. Application of distance based vegetation index for agricultural crops discrimination / P. Srinivas, B. K. Das, J. Saibaba, R. Krishnan // *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (ISPRS Archives)*. 2004. Vol. 35. Pp. 1127-1132.
9. Wang F. Development of a vegetation index for estimation of leaf area index based on simulation modeling / F. Wang, J. Huang, L. Chen // *Journal of Plant Nutrition*. 2010. Vol. 33. No 3. Pp. 328-338. DOI: 10.1080/01904160903470380
10. Wang F. New vegetation index and its application in estimating leaf area index of rice / F. Wang, J. Huang, Y. Tang, X. Wang // *Rice Science*. 2007. Vol. 14. No 3. Pp. 195-203. DOI: 10.1016/S1672-6308(07)60027-4

Shane N. DJAHIDZADEH¹

UDC 528.88:502.37

**THE METHOD COMPENSATING THE SATURATION EFFECT
OF NORMALIZED DIFFERENTIAL VEGETATION INDEX
IN REMOTE SENSING**

¹ Doctoral Student,
Azerbaijan National Aerospace Agency (Baku)
zshane@mail.ru

Abstract

This article studies the feasibility of developing a new method for compensation of saturation effect of normalized differential vegetation index in remote sensing. The author analyzes the combined use of NDVI and WDVI to decrease the non-linearity of the function of regression dependence of LAI from these indices.

The results show that the method of graphical summing of functions $LAI = f_1(NDVI)$ and $LAI = f_2(WDVI)$ with substitution of the argument and function of one of the mentioned functional dependencies leads to a significant decrease of the obtained total functional dependence. The author suggests the joint $f(NDVI, WDVI)$ index that possesses more linearity in its functional dependence from LAI in comparison with NDVI and WDVI separately.

Keywords

Saturation, vegetation index, remote sensing, water vapor, aerosol.

DOI: 10.21684/2411-7927-2019-5-1-20-28

REFERENCES

1. Basso B., Cammarano D., De Vita P. 2004. "Remotely sensed vegetation indices: theory and applications for crop management". *Rivista Italiana di Agrometeorologia*, no 1, pp. 36-53.

Citation: Djahidzadeh Sh. N. 2019. "The method compensating the saturation effect of normalized differential vegetation index in remote sensing". Tyumen State University Herald. Natural Resource Use and Ecology, vol. 5, no 1, pp. 20-28.

DOI: 10.21684/2411-7927-2019-5-1-20-28

2. Clevers J. G. P. W. 1989. "Application of a weighted infrared-red vegetation index for estimating leaf area index by correcting for soil moisture". *Remote Sensing of Environment*, vol. 29, no 1, pp. 25-37. DOI: 10.1016/0034-4257(89)90076-X
3. Clevers J. G. P. W. 1991. "Application of the WdVI in estimating LAI at the generative stage of barley". *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 46, no 1, pp. 37-47. DOI: 10.1016/0924-2716(91)90005-G
4. Clevers J. G. P. W. 1988. "The derivation of a simplified reflectance model for the estimation of leaf area index". *Remote Sensing of Environment*, vol. 25, no 1, pp. 53-69. DOI: 10.1016/0034-4257(88)90041-7
5. Fan L., Gao Y., Brück H., Bernhofer Ch. 2009. "Investigating the relationship between NDVI and LAI in semi-arid grassland in Inner Mongolia using in-situ measurements". *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 95, no 1-2, pp. 151-156. DOI: 10.1007/s00704-007-0369-2
6. Mroz M., Sobieraj A. 2004. "Comparison of several vegetation indices calculated on the basis of a seasonal SPOT XS time series, and their suitability for land cover and agricultural crop identification". *Technical Sciences*, no 7, pp. 39-66.
7. Naji T. A. H. 2018. "Study of vegetation cover distribution using DVI, PVI, WdVI indices with 2D-space plot". *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1003, no 1, 012083. DOI: 10.1088/1742-6596/1003/1/012083
8. Srinivas P., Das B. K., Saibaba J., Krishnan R. 2004. "Application of distance based vegetation index for agricultural crops discrimination". *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (ISPRS Archives)*, vol. 35, pp. 1127-1132.
9. Wang F., Huang J., Chen L. 2010. "Development of a vegetation index for estimation of leaf area index based on simulation modeling". *Journal of Plant Nutrition*, vol. 33, no 3, pp. 328-338. DOI: 10.1080/01904160903470380
10. Wang F., Huang J., Tang Y., Wang X. 2007. "New vegetation index and its application in estimating leaf area index of rice". *Rice Science*, vol. 14, no 3, pp. 195-203. DOI: 10.1016/S1672-6308(07)60027-4