

УДК 630*181

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки, сельскохозяйственные науки)

ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ФЕНОЛОГИИ РИСОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

Омаров Мерадж Эльдар оглы
докторант

*Национальное Аэрокосмическое Агентство, г.Баку,
Азербайджанская Республика*

Рассмотрен вопрос о точности изучения фенологии растений, в частности риса при использовании в этих целях таких вегетационных индексов как *LAI*, *EVI2* и *NDVI*. Введено на рассмотрение показатель, названный погрешностью неоднозначности между индексами *LAI* и *NDVI*, а также между *LAI* и *EVI2*. При этом принято во внимание наличие высокой степени корреляции между *EVI2* и *NDVI*. Взаимный анализ этих погрешностей показал, что при условии $NDVI > 0,37$ погрешность неоднозначности пары *LAI* и *NDVI* начинает превышать аналогичный показатель пары (*LAI*, *EVI2*). Следовательно, при $NDVI > 0,37$ рекомендуется использовать пару (*LAI*, *EVI2*) для исследования фенологии роста растений

Ключевые слова: ФЕНОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ,
ВЕГЕТАЦИОННЫЙ ИНДЕКС, ПОГРЕШНОСТЬ
НЕОДНОЗНАЧНОСТИ, СПЕКТРОРАДИОМЕТР,
РЕГРЕССИЯ

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-198-033>

UDC 630*181

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences, agricultural sciences)

QUESTIONS OF THE APPLICATION OF VEGETATION INDICES FOR THE STUDY OF THE PHENOLOGY OF RICE VEGETATION

Omarov Meraj Eldar oglu
PhD student

*National Aerospace Agency, Baku, Republic of
Azerbaijan*

The article considers the question of the accuracy of studying the phenology of plants, in particular rice, when using such vegetation indices as *LAI*, *EVI2* and *NDVI* for this purpose. An indicator called the ambiguity error between the *LAI* and *NDVI* indices, as well as between *LAI* and *EVI2*, has been introduced for consideration. At the same time, the presence of a high degree of correlation between *EVI2* and *NDVI* is taken into account. The mutual analysis of these errors showed that under the condition $NDVI > 0.37$, the ambiguity error of the pair *LAI* and *NDVI* begins to exceed the same indicator of the pair (*LAI*, *EVI2*). Therefore, at $NDVI > 0.37$, it is recommended to use a pair (*LAI*, *EVI2*) to study the phenology of plant growth

Keywords: PLANT PHENOLOGY, VEGETATION
INDEX, AMBIGUITY ERROR,
SPECTRORADIOMETER, REGRESSION

Введение

Хорошо известно, что для изучения фенологии растительности широко используются спутниковые средства, в частности спектрорадиометры MODIS, SPOTVGT и др. [1-6]. В частности, учитывая роль риса в качестве питательной растительности для более чем 50% мирового населения, широко практикуется спутниковый контроль фенологии риса с применением вегетационных индексов. *NDVI* и *EVI 2*, находящиеся в сильной корреляционной связи [7].

<http://ej.kubagro.ru/2024/04/pdf/33.pdf>

Согласно [7] применительно к фенологии риса индекс *NDVI* и вычисляется по следующим формуле:

$$NDVI = \frac{R927 - R687}{R927 + R687} \quad (2)$$

Для вычисления индекса *EVI 2* применяется следующая формула:

$$EVI2 = \frac{2,4(R800 - R670)}{R800 + R670 + 1} \quad (3)$$

В качестве примера на рис. 1 а,б приведены фенологические диаграммы для риса, составленные по результатам измерений индексов *NDVI* и *EVI 2* для рисового растения [7].

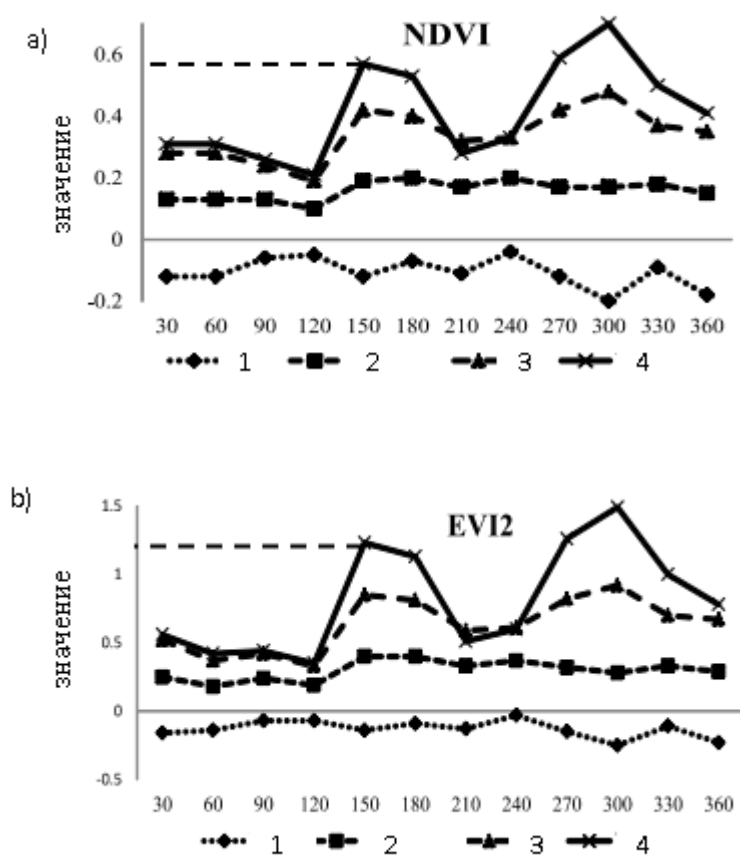


Рис. 1. а, б Фенологические диаграммы рисового растения с применением индекса *NDVI* (а) и *EVI 2* (б). 1-вода; 2-другие растения; 3-рис; 4-растительность

Как видно из фенологических диаграмм, представленных на рис. 1. кривые *NDVI* и *EVI 2* различаются по масштабу и почти повторяют друг-

друга. Вместе с тем, как отмечается в работе осуществление динамического мониторинга за развитием рисовой растительности с применением индекса LAI (индекс листовой площади) может дать ценную информацию для исследования всего цикла роста рисовой растительности. Эта мысль также подтверждается в работах [8-10]. Мультиспектральные изображения, получаемые с применением БПЛА в настоящее время используются более широко [11-13]. Это объясняется тем, что 3D облако данных выданные мультиспектральным измерителем БПЛА несет в себя информацию о плотности кроны растения, о высоте и плотности распределения листьев.

Вместе с тем, мониторинг фенологии растительности может стать полезным в том случае, если полученные результаты достоверны, т.е. однозначны и не зависят от качественных различий между применяемых вегетационных индексов. Однако, параллельное использование на практике индексов NDVI и LAI очевидно в принципе не могут обеспечить такую однозначность.

В настоящей статье проводится модельный анализ такой неоднозначности путем сравнения данных полученных с помощью индексов *LAI*, *NDVI* и *EVI 2*.

Материалы и методы

Неоднозначность оценки фенологического развития растительной продукции при использовании различных вегетационных индексов по следующей методике:

1. Допустим имеем модельную функциональную зависимость

$$LAI = f_1(c_1, c_2, a_1, a_2, VI_1) \quad (4)$$

$$LAI = f_2(c_1, c_2, a_3, a_4, VI_2) \quad (5)$$

где $c_1, c_2, a_1, a_2, a_3, a_4$ -известные модельные постоянные.

2. Вычисляются производные:

$$\frac{dLAI}{dVI_1} = \frac{df_1(c_1, c_2, a_1, a_2, VI_1)}{dVI_1} \quad (6)$$

$$\frac{dLAI}{dVI_2} = \frac{df_1(c_1, c_2, a_3, a_4, VI_2)}{dVI_2} \quad (7)$$

3. Ставится условие однозначности (LAI и VI_1); (LAI и VI_2):

$$\frac{dLAI}{dVI_1} = c_3; c_3 = const \quad (8)$$

$$\frac{dLAI}{dVI_2} = c_4; c_4 = const \quad (9)$$

4. Вычисляются погрешности однозначности δ_1 и δ_2 , где

$$\delta_1 = \frac{\left(\frac{dLAI}{dVI_1} - c_3\right)}{c_3} \quad (10)$$

$$\delta_2 = \frac{\left(\frac{dLAI}{dVI_2} - c_4\right)}{c_4} \quad (11)$$

5. По итогам вычисления δ_1 и δ_2 делаем следующие заключения:

- Если $\delta_1 = \delta_2$; однако δ_1 и δ_2 не равны нулю, то применение $NDVI$ и $EVI 2$ могут дать однозначный результат.
- Если $\delta_1 \neq \delta_2$; то VI с меньшей величиной δ считается более однозначной с LAI при мониторинге какого либо показателя фенологического развития растительности.

Модельные исследования

Согласно работе при фенологическом мониторинге высоты рисового растения с использованием индексов LAI , $NDVI$ и $EVI 2$ были получены следующие регрессионные уравнения:

$$LAI = 0,57 + 7,29H \ln(NDVI + 1) \quad (12)$$

$$LAI = 0,79 + 7,98H \ln(EVI2 + 1) \quad (13)$$

где H -высота рисовой растительности.

Вычислим $\frac{dLAI}{dNDVI}$ используя выражение (7). Имеем

$$\frac{dLAI}{dNDVI} = \frac{7,29H}{NDVI+1} \quad (14)$$

$$\frac{dLAI}{dEVI2} = \frac{7,98H}{EVI2+1} \quad (15)$$

Вычислим погрешности однозначности δ_1 и δ_2 при. Имеем

$$\delta_1 = \frac{\left(\frac{dLAI}{dVI_1} - c_3\right)}{c_3} = \frac{7,29H}{c_3(NDVI+1)} - 1 \quad (16)$$

$$\delta_2 = \frac{\left(\frac{dLAI}{dEVI2} - c_4\right)}{c_4} = \frac{7,98H}{c_4(EVI2+1)} - 1 \quad (17)$$

Для определения более предпочтительного индекса среди $NDVI$ и $EVI 2$, смысле более однозначного с LAI , вычислим разность

$$\Delta\delta = \delta_1 - \delta_2 = \frac{7,29H}{c_3(NDVI+1)} - \frac{7,98H}{c_4(EVI2+1)} \quad (18)$$

Введем показатель

$$\gamma = \frac{\Delta\delta}{H} = \frac{7,29}{c_3(NDVI+1)} - \frac{7,98}{c_4(EVI2+1)} \quad (19)$$

Используя фенологические диаграммы представленные на рис. 1 для первого пика при $N = 150$ (N -порядковое числа для года) получим $NDVI_{max} = 0,6$; $EVI2_{max} = 1,25$.

Выражение (19) представим как

$$\gamma = \frac{c_4 7,29(EVI2+1) - c_3 7,98(NDVI+1)}{c_3 c_4 (NDVI+1)(EVI2+1)} \quad (20)$$

разделив знаменатель и числитель в (20) на c_3 получим

$$\gamma = \frac{\frac{c_4}{c_3} 7,29(EVI2+1) - 7,98(NDVI+1)}{c_4 (NDVI+1)(EVI2+1)} \quad (21)$$

Далее учитывая

$$\frac{NDVI_{max}}{EVI2_{max}} = \frac{0,6}{1,25} \quad (22)$$

Получим

$$EVI2_{max} \approx 2NDVI_{max} \quad (23)$$

Аналогично (23) примем

$$c_4 \approx 2c_3 \quad (24)$$

С учетом (21), (23), (24) имеем

$$\gamma = \frac{2 \cdot 7,29 \cdot 2NDVI - 7,98(NDVI+1)}{2c_3(NDVI+1)(2NDVI+1)} \quad (25)$$

Как видно из выражения (25) при выполнении условия

$$NDVI[(4 \cdot 7,29) - 7,98] > 7,98$$

или

$$NDVI > \frac{7,98}{4 \cdot 7,29 - 7,98} \quad (26)$$

т.е. при $NDVI > 0,37$. γ является положительной величиной. При этом погрешность неоднозначности пары $LAI, NDVI$ оказывается больше, чем погрешность неоднозначности пары $LAI, EVI2$.

Обсуждение

Таким образом, рассмотрен вопрос о точности изучения фенологии растений, в частности риса при использовании в этих целях таких вегетационных индексов как $LAI, EVI2$ и $NDVI$. Для исследования указанного вопроса использованы известные регрессионные уравнения между LAI и $NDVI$, между LAI и $EVI2$, а также фенологические диаграммы изменения $EVI2$ и $NDVI$ в течение года по дням. Также принято во внимание наличие высокой степени корреляции между $EVI2$ и $NDVI$.

Введено на рассмотрение показатель, названный погрешностью неоднозначности между индексами LAI и $NDVI$, а также между LAI и $EVI2$. Взаимный анализ этих погрешностей показал, что при условии $NDVI > 0,37$ погрешность неоднозначности пары LAI и $NDVI$ начинает превышать аналогичный показатель пары $(LAI, EVI2)$. Следовательно, при $NDVI > 0,37$ рекомендуется использовать пару $(LAI, EVI2)$ для исследования фенологии роста растений.

Выводы и заключение

1. Сильная степень корреляции *NDVI* и *EVI2* позволяет их взаимозаменяемость при приблизительных фенологических исследованиях.
2. При проведении точных фенологических исследований следует учесть неоднозначность показаний пары индексов (*NDVI* и *LAI*), а также пары (*LAI*, *EVI2*).
3. Определено, что при $NDVI > 0,37$ следует пользоваться парой (*LAI*, *EVI2*) что можно объяснить эффектом насыщения *NDVI*.

Литература

1. Guo J, Mao K, Zhao Y, Lu Z, Xiaoping L. Impact of climate on food security in mainland China: A new perspective based on characteristics of major agricultural natural disasters and grain loss. *Sustain* 2019; 11(3): 1-27.
2. Onojeghuo AO, Blackburn GA, Huang J, Kindred D, Huang W. Applications of satellite 'hyper-sensing' in Chinese agriculture: Challenges and opportunities. *Int J Appl Earth Obs Geoinf* 2018; 64(v): 62-86.
3. Chemura A, Mutanga O, Dube T. Separability of coffee leaf rust infection levels with machine learning methods at Sentinel-2 MSI spectral resolutions. *Precis Agric* 2017; 18(5): 859-881.
4. Escolà A, Badia N, Arnó J, Martínez-Casasnovas JA. Using Sentinel-2 images to implement Precision Agriculture techniques in large arable fields: First results of a case study. *Adv Anim Biosci* 2017; 8(2): 377-382.
5. Pan H, Chen Z, de Allard W, Ren J. Joint assimilation of leaf area index and soil moisture from Sentinel-1 and Sentinel-2 data into the WOFOST model for winter wheat yield estimation. *Sensors (Switzerland)* 2019; 19(14): 3161.
6. Singha M, Wu B, Zhang M. Object-based paddy rice mapping using HJ-1A/B data and temporal features extracted from time series MODIS NDVI data. *Sensors (Switzerland)* 2017; 17(1): 10.
7. Choudhary K., Shi W., Dong Y. Rice growth vegetation index 2 for improving estimation of rice plant phenology in costal ecosystems// *Computer optics*. 2021. Vol 45(3). Doi:10.18287/2412-6179-CO-827.
8. Gong Y., Yang K., Lin Z., Fang S., Wu X., Zhu R., Peng Y. Remote estimation of leaf area index (LAI) with unmanned aerial vehicle (UAV) imaging for different rice cultivars throughout the entire growing season// *Plant methods*. 2021. <https://doi.org/10.1186/s13007-021-00789-4>.
9. Wan L, Cen H, Zhu J, Zhang J, Zhu Y, Sun D, et al. Grain yield prediction of rice using multi-temporal UAV-based RGB and multispectral images and model transfer—a case study of small farmlands in the South of China. *Agr Forest Meteorol*. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108096>.

10. Li S, Yuan F, Ata-Ui-Karim ST, Zheng H, Cheng T, Liu X, et al. Combining color indices and textures of UAV-based digital imagery for rice LAI estimation. *Remote Sens.* 2019. <https://doi.org/10.3390/rs11151763>.
11. Tsouros D. C, Bibi S, Sarigiannidis P. G. A review on uav based applications for precision agriculture. *Information.* 2019. <https://doi.org/10.3390/info10110349>.
12. Ampatzidis Y, Partel V, Costa L. Agroviz: cloud-based application to process, analyze and visualize UAV-collected data for precision agriculture applications utilizing artificial intelligence. *Comput Electron Agric.* 2020. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105457>.
13. Gómez-Candón D, De Castro AI, López-Granados F. Assessing the accuracy of mosaics from unmanned aerial vehicle (UAV) imagery for precision agriculture purposes in wheat. *Precision Agric.* 2013;15:44–56.