

НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ В АПК: ДОСЛІДЖЕННЯ ТА УПРАВЛІННЯ

УДК 528.88: 631.95

[http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2022-1-30\(44\)-9](http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2022-1-30(44)-9)

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК МІЖ НОРМАЛІЗОВАНИМ ДИФЕРЕНЦІЙНИМ ВЕГЕТАЦІЙНИМ ІНДЕКСОМ І ЗЕЛЕНИМ ПОКРИВОМ У ЗЕРНОБОБОВИХ КУЛЬТУР

Вожегова Р., д-р с.-г. наук, проф., акад. НААН,
e-mail: izz.ua@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-3895-5633>

Лиховид П., канд. с.-г. наук., НААН,
e-mail: pavel.likhovid@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0314-7644>

Інститут зрошуваного землеробства НААН

Лавренко С., канд. с.-г. наук, доц.,
e-mail: lavrenko.sr@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3491-1438>

Херсонський державний аграрно-економічний університет

Анотація

У статті викладено результати дослідження щодо взаємозв'язку та можливості взаємної конвертації між нормалізованим диференційним вегетаційним індексом (NDVI) і зеленим покривом (FGCC) зернобобових культур.

Метою роботи є надання пропозицій щодо моделей взаємної конвертації між вегетаційними індексами.

Матеріали та методи. Основою дослідження стали фотографічні матеріали посівів зернобобових культур, зняті у різні фази їхнього росту та розвитку на фіксованих майданчиках через кожні 10 м дослідних полів, отримані та автоматично обраховані для встановлення рівня зеленого покриву у відсотковому відношенні в мобільному додатку Saporo. Дослідні матеріали було отримано в 2021 році на експериментальних полях Інституту зрошуваного землеробства НААН і в 2016 році на дослідному полі СК «Радянська Земля». У подальшому геоточки та дати зйомки фотографічних матеріалів було прив'язано до величин супутникового NDVI, отриманого на платформі OneSoil AI, за кожною з досліджуваних культур (різниця в датах до 3 діб). Сформовані пари FGCC та NDVI у кожній культурі було передано на статистичний аналіз методом поліноміальної регресії. Статистичні розрахунки та графічну роботу виконували в табличному процесорі Microsoft Excel 365.

Результати. Встановлено, що існує тісний лінійний та нелінійний взаємозв'язок між показниками FGCC та NDVI досліджуваних культур. Тіснота зв'язку є високою з коефіцієнтом кореляції в межах 0,95-0,98 та коефіцієнтом детермінації 0,90-0,97. Поліноми другого ступеня (нелінійні регресійні моделі) можуть бути успішно використані для взаємної конвертації між вегетаційними індексами, величина похибки в перерахунках для більшості культур не перевищувала 10 %.

Висновки. Доведено високу спорідненість між нормалізованим диференційним вегетаційним індексом і відсотком покриття площі земельної ділянки у зернобобових культур (R^2 у межах 0,90-0,97). Максимально тісний взаємозв'язок спостерігається для сої та квасолі порівняно з нутом і горохом.

Ключові слова: горох посівний, квасоля звичайна, конвертація, нут, регресійний аналіз, соя.

Вступ. Сучасні інформаційні технології змінюють вимоги до виробництва продукції рослинництва. Завдяки новітнім технологічним засобам і підходам можливим став перехід від традиційного до точного землеробства, який базується на останніх досягненнях супутникового моніторингу, автоматизації технологічних процесів та інформатизації виробництва, істотно підвищує продуктивність праці,

поліпшує процес контролю якості посівів та одержуваної продукції, прогнозує рівень урожаїв і вчасно вживає заходів для попередження ризиків біотичного та абіотичного походження, водночас мінімізуючи негативний вплив господарської діяльності на навколишнє середовище [Vilde et al., 2012].

Однією з вагомих складових систем точного землеробства є супутниковий моніторинг стану посівів, який виконується математичною обробкою знімків поверхні Землі, одержуваних на супутниках Landsat та Sentinel у різних спектрах, з подальшим отриманням величин різних вегетаційних індексів, які дають змогу характеризувати рослинний покрив певної території у просторі та часі. Найбільшого поширення у світовій практиці отримав нормалізований диференційний вегетаційний індекс (NDVI), запропонований ще у 1974 році [Rouse et al., 1974]. Незважаючи на низку недоліків, які, здебільшого, стосуються чутливості величини індексу до рівня хмарності, атмосферних явищ, особливостей рельєфу, ґрунтового покриття території тощо, він понині слугує основним інструментом агрономічної оцінки стану розвитку культур, прогнозу їхньої продуктивності, екологічної характеристики штучних і природних рослинних угруповань [Kaufman et al., 1992; Huang et al., 2021]. Зараз доступ до даних NDVI є практично необмеженим, втім досі не кожен український аграрій може отримати супутникові знімки з величиною цього індексу для власних полів оскільки: комерційні продукти вимагають високої плати від абонентів; далеко не кожне українське поле представлене достатньо на безкоштовних сервісах; більшість безкоштовних сервісів дає обмежений доступ до даних NDVI в часовому плані (обмежений часовий ряд знімків); потреба у камеральній доробці сирих супутникових знімків, які можна одержати безкоштовно, унеможливорює їхнє пряме зручне використання агровиробниками.

Для того, щоб забезпечити можливість одержати дані NDVI на кожному україн-

ському полі, потрібен пошук альтернативних методів отримання вегетаційного індексу, одним із яких може бути його математичне виведення з іншого, більш доступного індексу зеленого покриття (FGCC), який легко можна отримати маючи лише смартфон з камерою та безкоштовним додатком Canopeo (розроблений в Університеті Огайо, США) для автоматизованого аналізу знімків поля [Patrignani & Ochsner, 2015]. Попередніми дослідженнями вже було доведено високий тісний зв'язок між NDVI та FGCC [Jburegui et al., 2019], тож цілком перспективною виглядає можливість виведення першого індексу за величиною останнього.

Метою роботи було встановити взаємозв'язки між NDVI та FGCC для зернобобових культур (соє, квасоля, нут, горох), вирощуваних в умовах Півдня України, завдяки чому запропонувати моделі для конвертації одного вегетаційного індексу в інший.

Методи і матеріали. Основою для виконання розрахунково-статистичної роботи були фотографічні матеріали посівів зернобобових культур, зняті у різні фази їхнього росту та розвитку за чітко встановленими майданчиками через кожні 10 м, отримані згідно з офіційним керівництвом до застосування мобільного додатка Canopeo [Patrignani & Ochsner, 2015]. Фотографічні матеріали за стандартною процедурою було оброблено в мобільному додатку та отримано величину зеленого покриття у відсотках (FGCC). У досліджах застосовували смартфони Sony Xperia XZ2 Premium та Meizu 16. Матеріали щодо сої (*Glycine max* Moench.), гороху посівного (*Pisum sativum*) та нуту (*Cicer arietinum*) було отримано 2021 року на дослідних полях Інституту зрошуваного землеробства НААН (с. Наддніпрянське, Херсонська область). Матеріали щодо квасолі звичайної (*Phaseolus vulgaris*) було штучно відібрано відповідно до критеріїв програми та додано до архіву мобільного додатка Canopeo, фотографічні матеріали було отримано в 2016 році на дослідних посівах у СК «Радянська Земля» Білозер-

ського району Херсонської області. У подальшому геоточки та дати зйомки фотографічних матеріалів було прив'язано до величин супутникового NDVI за кожною з досліджуваних культур (різниця в датах до 3 діб). Дані щодо NDVI було одержано сервісом OneSoil AI, де кожен піксель віртуальної карти NDVI відповідає квадрату площею 25 м². Сформовані пари FGCC та NDVI у кожній культурі було передано на статистичний аналіз методом поліноміальної регресії (загалом 400 пар даних, по 100 пар на кожну досліджувану культуру).

Статистичні розрахунки та графічну роботу виконували в табличному процесорі Microsoft Excel 365. Поліном другого ступеня був застосований як базова математична модель для взаємної конвертації між FGCC та NDVI [Ostertagovb, 2012]. Регресійний аналіз і апроксимацію розроблених моделей було виконано в BioStat v7 add-in для Microsoft Excel 365.

Результати та обговорення. Результати математико-статистичних розрахунків встановили високий тісний взаємозв'язок між показниками NDVI та FGCC у зернобобових культур (табл. 1). Максимальна тіснота зв'язку характерна для сої та

квасолі звичайної, мінімальна — для гороху посівного. Можливо, це пов'язано з особливостями будови стебел рослин, оскільки соя та квасоля звичайна у досліджах мали штаббовий прямостоячий тип стебла, а рослини нуту та гороху посівного відрізнялися певною мірою витким стеблом. Проте результати оцінки значущості взаємозв'язку між показниками NDVI та FGCC у досліджуваних культур повністю узгоджуються з такими, які наявні в сучасній науковій періодиці стосовно деяких інших видів природної та агрономічної рослинності [Wittich & Hansing, 1995; Lukina et al., 1999; Li et al., 2004].

Регресійні математичні моделі для перерахунку NDVI в FGCC та оберненої конвертації FGCC в NDVI наведено в таблиці 2, коефіцієнти детермінації для цих моделей — у таблиці 3. Графічна апроксимація моделей подана на рисунку 1.

Похибка розрахунків для конвертаційних моделей наведена в таблиці 4.

Отже, враховуючи високий тісний взаємозв'язок та низьку величину середньої абсолютної похибки MAPE оціночних розрахунків під час взаємної конвертації можна рекомендувати за необхідності

Таблиця 1 – Результати статистичної оцінки лінійного парного взаємозв'язку між NDVI та FGCC у зернобобових культур

Статистичний показник	Соя	Нут	Квасоля звичайна	Горох посівний
Коефіцієнт кореляції R	0,98	0,97	0,98	0,95
Коефіцієнт детермінації R ²	0,96	0,94	0,96	0,90

Таблиця 2 – Регресійні моделі конвертації між NDVI та FGCC для зернобобових культур (поліноми другого ступеня)

Напрямок конвертації	Соя	Нут	Квасоля звичайна	Горох посівний
NDVI в FGCC	$1,753x^2 + 76,175x - 0,890$	$27,820x^2 + 164,600x - 3,343$	$-119,0x^2 + 238,160x - 26,929$	$85,063x^2 + 25,586x + 19,840$
FGCC в NDVI	$4 \times 10^{-5}x^2 + 0,0092x + 0,0936$	$4 \times 10^{-6}x^2 + 0,0064x + 0,0218$	$-3 \times 10^{-5}x^2 + 0,0116x - 0,1024$	$-2 \times 10^{-5}x^2 + 0,0097x + 0,0353$

Таблиця 3 – Коефіцієнти детермінації нелінійних регресійних моделей конвертації між NDVI та FGCC для зернобобових культур

Напрямок конвертації	Соя	Нут	Квасоля звичайна	Горох посівний
NDVI в FGCC	0,97	0,95	0,96	0,90
FGCC в NDVI	0,97	0,95	0,95	0,90

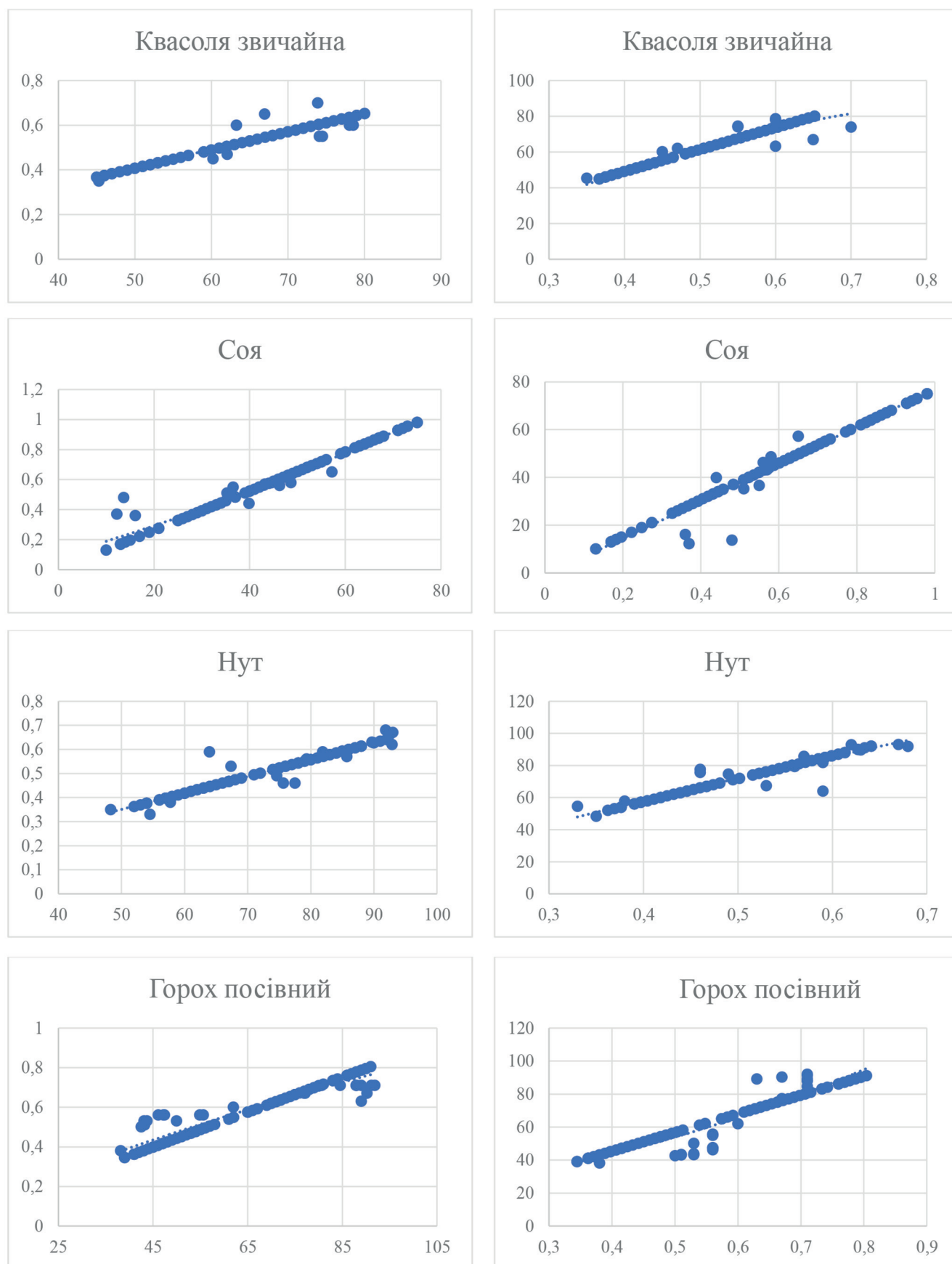


Рисунок 1 – Графічна апроксимація моделей для конвертації FGCC в NDVI (зліва) та NDVI в FGCC (справа) для зернобобових культур

Таблиця 4 – Похибки нелінійних регресійних моделей конвертації між NDVI та FGCC для зернобобових культур, %

Напрямок конвертації	Соя	Нут	Квасоля звичайна	Горох посівний
NDVI в FGCC	2,99	1,85	1,81	5,31
FGCC в NDVI	3,83	1,59	26,11	5,56

застосовувати розроблені моделі для виведення одного вегетаційного індексу з іншого для інтеграції у системи точного землеробства з планування та прогнозування врожаїв зернобобових культур. Проте модель конвертації FGCC в NDVI для квасолі звичайної яскраво відрізняється від інших моделей майже десятикратним перевищенням похибки, що ставить її в ряд точних, але недостатньо досконалих [Moreno et al., 2013].

Висновки. Доведено високу спорідненість між нормалізованим диференціальним вегетаційним індексом та відсотком покриття площі земельної ділянки у зернобобових культур (R^2 в межах 0,90-0,97). Можлива взаємна конвертація між двома досліджуваними індексами, чим розширюються можливості для аналітичної роботи в системах точного землеробства. Максимально тісний взаємозв'язок спостерігається для сої та квасолі порівняно з нутом і горохом.

Перелік літератури

Huang, S., Tang, L., Hupy, J. P., Wang, Y., & Shao, G. (2021). A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research*, 32, 1-6.

Jburegui, J. M., Delbino, F. G., Bonvini, M. I. B., & Berhongaray, G. (2019). Determining yield of forage crops using the Canopeo mobile phone app. *Journal of New Zealand Grasslands*, 41-46.

Kaufman, Y. J., Tanrı, D., Holben, B. N., Markham, B. L., & Gitelson, A. A. (1992). Atmospheric Effects on the NDVI - Strategies for its Removal. *Proceedings of the Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 1238-1241.

Li, C., Wang, J., Zhao, C., Liu, L., & Wang, R. (2004). A research on retrieval win-

ter wheat ground cover by spectral indices in field. 2004 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 6, 3996-3999.

Lukina, E. V., Stone, M. L., & Raun, W. R. (1999). Estimating vegetation coverage in wheat using digital images. *Journal of Plant Nutrition*, 22(2), 341-350.

Moreno, J. J. M., Pol, A. P., Abad, A. S., & Blasco, B. C. (2013). Using the R-MAPE index as a resistant measure of forecast accuracy. *Psicothema*, 25(4), 500-506.

Ostertagovb, E. (2012). Modelling using polynomial regression. *Procedia Engineering*, 48, 500-506.

Patrignani, A., & Ochsner, T. E. (2015). Canopeo: A powerful new tool for measuring fractional green canopy cover. *Agronomy Journal*, 107(6), 2312-2320.

Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA special publication*, 351(1974), 309.

Vilde, A., Lapins, D., Dinaburga, G., Cesnieks, S., & Valainis, O. (2012). Investigations in precise agriculture: results, problems, perspective development. *Engineering for Rural Development*, 74-80.

Wittich, K. P., & Hansing, O. (1995). Area-averaged vegetative cover fraction estimated from satellite data. *International Journal of Biometeorology*, 38(4), 209-215.

References

Huang, S., Tang, L., Hupy, J. P., Wang, Y., & Shao, G. (2021). A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research*, 32, 1-6.

Jburegui, J. M., Delbino, F. G., Bonvini, M. I. B., & Berhongaray, G. (2019). Determining yield of forage crops using the Canopeo mobile phone app. *Journal of New*

Zealand Grasslands, 41-46.

Kaufman, Y. J., Tanrı, D., Holben, B. N., Markham, B. L., & Gitelson, A. A. (1992). Atmospheric Effects on the NDVI - Strategies for its Removal. Proceedings of the Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1238-1241.

Li, C., Wang, J., Zhao, C., Liu, L., & Wang, R. (2004). A research on retrieval winter wheat ground cover by spectral indices in field. 2004 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 6, 3996-3999.

Lukina, E. V., Stone, M. L., & Raun, W. R. (1999). Estimating vegetation coverage in wheat using digital images. Journal of Plant Nutrition, 22(2), 341-350.

Moreno, J. J. M., Pol, A. P., Abad, A. S., & Blasco, B. C. (2013). Using the R-MAPE index as a resistant measure of forecast accuracy. Psicothema, 25(4), 500-506.

Ostertagov, E. (2012). Modelling using polynomial regression. Procedia Engineering, 48, 500-506.

Patrignani, A., & Ochsner, T. E. (2015). Canopeo: A powerful new tool for measuring fractional green canopy cover. Agronomy Journal, 107(6), 2312-2320.

Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. NASA special publication, 351(1974), 309.

Vilde, A., Lapins, D., Dinaburga, G., Cesnieks, S., & Valainis, O. (2012). Investigations in precise agriculture: results, problems, perspective development. Engineering for Rural Development, 74-80.

Wittich, K. P., & Hansing, O. (1995). Area-averaged vegetative cover fraction estimated from satellite data. International Journal of Biometeorology, 38(4), 209-215.

UDC 528.88: 631.95

RELATIONSHIP BETWEEN NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX AND GREEN CANOPY COVER IN LEGUMINOUS CROPS

Vozhehova R., D-r of Agr. Scs, Prof., Acad. of NAAS, акад. НААН,
e-mail: izz.ua@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-3895-5633>

Lykhovyd P., Ph. D.,
e-mail: pavel.likhovid@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0314-7644>
Institute of Irrigated Agriculture of NAAS

Lavrenko S., Ph. D., Assistant Prof.,
e-mail: lavrenko.sr@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3491-1438>
Kherson State Agrarian and Economic University

Summary

The article presents the results of a study on the relationship and the possibility of mutual conversion between the normalized differentiated vegetation index (NDVI) and fractional green canopy cover (FGCC) in legumes.

The purpose of the work is to provide proposals for models of mutual conversion between the vegetation indices.

Materials and methods. *The basis of the study was formed by the photographic materials of the*

leguminous crops, taken at different phases of growth and development on the fixed sites every 10 m of the experimental fields, obtained and automatically calculated to establish the percentage of green canopy cover in Canopeo mobile application. Experimental materials were obtained in 2021 in the experimental fields of the Institute of Irrigated Agriculture of NAAS and in 2016 in the experimental field of the AC "Radyanska Zemlya". Subsequently, the geotags and dates of shooting photographic materials were tied to the satellite NDVI values obtained through the OneSoil AI platform for each of the studied crops (the difference in dates is up to 3 days). The established pairs of FGCC and NDVI for each crop were submitted for statistical analysis by polynomial regression. Statistical calculations and graphical work were performed in Microsoft Excel 365 spreadsheets.

Results. It has been established that there is a close linear and nonlinear relationship between the FGCC and NDVI indices of the studied crops. The strength of the relationship is high, with a correlation coefficient in the range of 0.95-0.98 and a determination coefficient of 0.90-0.97. Polynomials of the second stage (nonlinear regression models) can be successfully used for mutual conversion between vegetation indices; the error in recalculation for most crops did not exceed 10 %.

Conclusions. A high affinity between the normalized differential vegetation index and the percentage of green canopy cover in the leguminous crops (R^2 within 0.90-0.97) has been proven. The closest relationship is observed for soybeans and beans compared to chickpeas and peas.

Key words: peas, common beans, conversion, chickpeas, regression analysis, soybean.