

13. Lobachevsky Y. P., Starovoitov S. I. Theoretical and Technological Aspects of the Work of the Loosening Working Organ. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2016. № 5. Pp. 17-23.
14. Borisenko I. B., Sokolova M. V. Technological Scheme of the Working Body for Strip Deep Soil Cultivation. *Niva of the Volga region*. 2014. № 3 (32). Pp. 44-48.
15. Mazitov N. K., Lobachevsky Y. P., Dmitriev S. Yu., et al. Modernized Technology and Technique for Soil Treatment and Sowing in Extreme Conditions. *Proceedings of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 2014. № 6. Pp. 63-67.
16. Lobachevsky Y. P., Liskin I. V., Sidorov S. A., et al. Development and Technology of Production of Soil Cultivating Working Bodies. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2016. № 4. Pp. 3-8.
17. Lobachevsky Y. P., Lachuga Y. F., Izmailov A. Yu., Shogenov Y. Kh. Scientific and Technical Achievements of Agroengineering Scientific Organizations in the Context of Digital Transformation of Agriculture. *Machinery and equipment for the village*. 2023. № 3 (309). Pp. 2-12.
18. Babitsky L. F., Sobolevsky I. V., Kuklin V. A. Theoretical prerequisites for bionic justification of the parameters of the working bodies of a stubble cultivator. *Agrarian Science of the Euro-North-East*. 2019. V. 20. № 2. Pp. 183-191.
19. Mazitov N. K., Lobachevsky Y. P., Rakhimov R. S., et al. Russian Technology of Soil Cultivation and Sowing Based on Own Competitive Innovative Machines. *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*. 2014. № 7. Pp. 68-70.
20. Shvabauer Y. A., Subbotin S. I., Gapich D. S., Fomin S. D. Modeling of the surface of the working body of a chisel plow. *Izvestiya NV AUK*. 2024. № 1 (73). Pp. 365-373.
21. Gubaidulin D. S., Shvabauer Y. A., Gapich D. S., Fomin S. D. Results of Experimental Studies of the Power Load of a Chisel Unit. *Izvestiya NV AUK*. 2024. № 1 (73). Pp. 357-365.
22. Gapich D. S., Shvabauer Y. A., Subbotin S. I., Gubaidulin D. S. Reduction of traction resistance of chisel guns. *Izvestiya NV AUK*. 2023. № 4 (72). Pp. 398-409.

Информация об авторах

Фомин Сергей Денисович, доктор технических наук, профессор кафедры «Механика», заведующий Центром наукометрического анализа и международных систем индексирования, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, Волгоград, проспект Университетский, д. 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7910-9284>, e-mail: fsd_58@mail.ru

Гапич Дмитрий Сергеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электроснабжение и энергетические системы», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: Gds-08@mail.ru

Субботин Станислав Игоревич, аспирант кафедры «Электроснабжение и энергетические системы», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: Gds-08@mail.ru

Швабауэр Юрий Александрович, аспирант кафедры «Электроснабжение и энергетические системы», ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, Волгоград, проспект Университетский, д. 26), e-mail: Gds-08@mail.ru

Author's Information

Fomin Sergey Denisovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Mechanics, Head of the Center for Scientometric Analysis and International Indexing Systems, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7910-9284>, e-mail: fsd_58@mail.ru

Dmitry Sergeevich Gapich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of the Department of Power Supply and Energy Systems, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: Gds-08@mail.ru

Subbotin Stanislav Igorevich, postgraduate student of the Department of Power Supply and Energy Systems, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: Gds-08@mail.ru

Shvabauer Yuri Alexandrovich, Postgraduate student of the Department of Power Supply and Energy Systems, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: Gds-08@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2024-02-43

APPLICATION OF VEGETATION INDICES FOR COMPARATIVE EVALUATION OF SOYBEAN FIELD GERMINATION

¹Kiryukhin S. V., ²Kurbanov R. K., ¹Gurinovich S. O., ¹Panarina V. I., ²Zakharova N. I.

¹Federal Scientific Center of Legumes and Cereals
Streletsky settlement, Orel region, Russian Federation

²Federal Scientific Agroengineering Center VIM
Moscow, Russian Federation

Corresponding author E-mail: smedia@vim.ru

Received 28.11.2023

Submitted 20.03.2024

The research was carried out within the framework of scientific cooperation between the Federal Research Center for Legumes and Cereals and the Federal Scientific Agroengineering Center VIM in 2022

Summary

The article examines the correlations between the field germination of soybeans and the values of vegetation indices. Tests on two groups of breeding samples showed that the MCARI and NDVI indices are the most sensitive to field germination indicators. The use of vegetation indices is advisable in years with unstable field germination of soybeans as an indirect method for its assessment.

Abstract

Introduction. Field germination is estimated by counting the number of germinated plants per unit area. This is expressed as a percentage of the seed sown. This method requires not only certain physical costs but also time. With the development of digital technologies in modern conditions, it is necessary to search for new methods of assessing field germination. **Object.** The object of the research is the soybean competitive and preliminary variety testing nurseries and the soybean breeding and collection nursery. **Materials and methods.** The research was carried out at the experimental base of the Federal Research Centre for Legumes and Cereals in the Orel region. The planting of the nurseries and the related observations were carried out according to the methods of VIR and State Agricultural Testing. A DJI Matrice 200 v2 unmanned aerial vehicle equipped with a MicaSense Altum multispectral camera was used for multispectral aerial imaging. Six flights during the main growing season. Vegetation indices were calculated: NDVI, NDRE, CLGreen, GNDVI, and MCARI. **Results and conclusion.** Tests on two groups of breeding samples showed that the correlations are stronger, with large differences in the values of field germination of cultivars on plots. The correlation coefficient ($r > 0.8$) for most of the indices reaches its highest value on the 25th day after the appearance of the first shoots. The most sensitive to field germination are the MCARI and NDVI indices, for which the average correlation ($r > 0.7$) remained until the beginning of August (the end of flowering for most cultivars) with average differences in field germination and until the end of August (the beginning of maturation for most soybean cultivars) with high differences in field germination ($r > 0.5$). The use of vegetation indices is advisable in years with unstable field germination of soybeans as an indirect method for its assessment, especially when there are significant differences between the samples studied and when there are a large number of forms studied on extensive and heterogeneous crop areas. It is also relevant for breeding material testing or environmental testing to reduce the amount of groundwork when assessing soybean field germination.

Keywords: soybean, soybean field germination, soybean breeding, soybean vegetation, unmanned aerial vehicles.

Citation. Kiryukhin S. V., Kurbanov R. K., Gurinovich S. O., Panarina V. I., Zakharova N. I. Application of vegetation indices for comparative evaluation of soybean field germination. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2024. 2(74). 367-376 (in Russian). DOI:10.32786/2071-9485-2024-02-43.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 633.853.52:631.53.011.2:631.527:631.34

**ПРИМЕНЕНИЕ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ ДЛЯ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ
ПОЛЕВОЙ ВСХОЖЕСТИ СОИ**

¹Кирюхин С. В., кандидат сельскохозяйственных наук

²Курбанов Р. К., кандидат технических наук

¹Гуринович С. О., старший научный сотрудник

¹Панарина В. И., кандидат сельскохозяйственных наук

²Захарова Н. И., младший научный сотрудник

¹Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур (ФГБНУ ФНЦ ЗБК)
п. Стрелецкий, Орловская область, Российская Федерация

²Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)
г. Москва, Российская Федерация

Исследования проведены в рамках научного сотрудничества ФГБНУ «Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур» и ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» в 2022 году

Актуальность. Полевая всхожесть оценивается путем подсчета проросших растений на единицу площади и выражения ее в процентах от посеянных семян. Этот метод требует не только определенных физических затрат, но и времени. С развитием цифровых технологий в современных условиях необходим поиск новых методов оценки полевой всхожести. **Объект.** Объектом исследований являются питомники конкурсного и предварительного сортоиспытания сои и селекционный и коллекционный питомник сои. **Материалы и методы.** Исследования проводились на опытном поле экспериментальной базы ФГБНУ «Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур» (ФГБНУ ФНЦ ЗБК) в Орловской области. Закладка питомников и сопутствующие наблюдения проведены согласно методикам ВИР и Госсортоиспытания сельскохозяйственных культур. Для мультиспектральной аэрофотосъемки использовался беспилотный летательный аппарат DJI Matrice 200 v2 с мультиспектральной камерой MicaSense Altum. Осуществлено 6 полетов в основные фазы вегетации. Рассчитаны вегетационные индексы: NDVI, NDRE, CLGreen, GNDVI, MCARI. **Результаты и выводы.** Испытания на двух группах селекционных образцов позволили выявить, что корреляци-

онные зависимости сильнее при больших различиях значений полевой всхожести сортообразцов на делянках. Наибольшие значения коэффициент корреляции ($r > 0,8$) по большинству индексов приобретает на 25 день от появления первых всходов. Наиболее чувствительны к показателям полевой всхожести индексы MCARI и NDVI, для которых средняя корреляционная зависимость ($r > 0,7$) сохранялась до начала августа (завершения цветения большинства селекционных номеров) при средних различиях полевой всхожести, и до конца августа (начало созревания большинства сортообразцов сои) при высоких различиях полевой всхожести ($r > 0,5$). Применение вегетационных индексов целесообразно в годы с нестабильной полевой всхожестью сои в качестве непрямого метода для её оценки, особенно при значительных различиях среди изучаемых образцов и при большом количестве изучаемых форм на обширных и разнородных участках посевов, а также актуально при испытаниях селекционного материала или экологических испытаниях для снижения объёмов наземных работ при оценке полевой всхожести сои.

Ключевые слова: соя, полевая всхожесть сои, селекция сои, вегетация сои, беспилотные летательные аппараты.

Цитирование. Кирюхин С. В., Курбанов Р. К., Гуринович С. О., Панарина В. И., Захарова Н. И. Применение вегетационных индексов для сравнительной оценки полевой всхожести сои. *Известия НВ АУК*. 2024. 2(74). 367-376. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-02-43.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Данные аэрофотосъемки, полученные с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и мультиспектральной камеры, применяют для мониторинга состояния посевов, прогноза развития сельскохозяйственных культур, оценки их состояния и изменений в течение всего вегетационного периода [1, 2]. Полученные снимки в различных спектральных диапазонах анализируются и используются для вычисления вегетационных индексов по специальным формулам. Полученные таким образом карты вегетационных индексов могут быть использованы для качественного и комплексного мониторинга состояния сельскохозяйственных культур [3, 4].

В настоящее время для оценки сельскохозяйственных посевов используются более 150 вегетационных индексов, однако не все они активно применяются [5]. Каждый вегетационный индекс имеет специфическую сферу применения, ограничивающие факторы и используется как отдельно, так и в комплексе с другими индексами [6]. Индексы основаны на способности различных объектов отражать и поглощать электромагнитные волны. Максимальное поглощение солнечной радиации хлорофиллом приходится на красную зону спектра (0,62...0,75 мкм), а на ближнюю инфракрасную зону (0,75...1,30 мкм) – максимальное отражение энергии растений. Соотношение характеристик поглощения и отражения солнечной радиации дает возможность классифицировать растительность и другие объекты, например почву [7].

Одним из наиболее важных показателей качества посевов является полевая всхожесть, которая оказывает сильное влияние на урожайность и общее состояние посевов сои [8]. Полевая всхожесть зависит от множества факторов, таких как качество посевного материала, состояние почвы, погоднo-климатических условий. Ручная оценка и анализ полевой всхожести часто затруднены при мониторинге больших площадей или значительном количестве исследуемых селекционных образцов [9-12]. Использование беспилотных летательных аппаратов для оценки полевой всхожести и мониторинга состояния растений в течение вегетационного сезона способствует охвату больших площадей, устранению усредненных данных и объективной оценке развития растений [13]. При этом отсутствуют разработанные методики оценки полевой всхожести растений сои с помощью данных мультиспектральной аэрофотосъемки с БПЛА.

Цель исследования: сравнение групп селекционных образцов с различным распределением полевой всхожести и определение взаимосвязей между показателями полевой всхожести и значениями вегетационных индексов на разных этапах развития сои.

Материал и методы. В 2022 году исследования проводились на опытном поле экспериментальной базы ФГБНУ «Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур» (ФГБНУ ФНЦ ЗБК) в Орловской области. Научно-экспериментальная база расположена в лесостепной зоне РФ, в северной части Центрального федерального округа. Делянки располагались преимущественно на тёмно-серых лесных почвах среднесуглинистого состава, слабокислая ($pH_{\text{сол.}} = 5,5$). Количество плодородного слоя (гумуса) – 5,1%, суль-

фата калия (K_2O) – 7,8 мг/100 г почвы, оксида фосфора P_2O_5 – 18,6 мг/100 г почвы. Для посева делянок с междурядьями 45 см использовалась селекционная сеялка СКС-6-10. Сев опытных делянок сои проведен – 26 мая. Всходы для большинства образцов приходились на 3-6 июня. Норма высева – 600 тыс. семян на гектар. Площадь опытных делянок 15 м². Анализ полевой всхожести проводился поделяночно, количество всхожих растений определяли в четырех рядах на длине 0,55 см. В качестве объекта исследований были представлены питомники конкурсного и предварительного сортоиспытания, состоящие из 40 и 80 делянок соответственно, в сумме составляя 120 делянок. Селекционный и коллекционный питомник включали в себя 50 и 60 делянок, в сумме 110 делянок. Измерения полевой всхожести проводилось 9 июня 2022 года.

Закладка полевых опытов проводилась согласно Методике полевого опыта. Фенологические наблюдения – Методика проведения полевых агротехнических опытов с масличными культурами. Оценка морфологических и хозяйственных признаков – Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур; Методические указания по изучению коллекции зерновых бобовых культур.

При оптической оценке растительного покрова сои использовали беспилотный летательный аппарат *DJI Matrice 200 v2* с ГНСС антенной. На БПЛА крепится две камеры одновременно: RGB камера *DJI X4S 20 Mp* (5472 x 3648) и мультиспектральная камера *MicaSense Altum* с сенсором освещенности DLS2. DLS2 оснащен GPS приемником, фиксирующим координаты каждого изображения (рисунок 1). Камера делает снимки в шести каналах: синий (B) (475±32 нм), зеленый (G) (560±27 нм), красный (R) (668±16 нм), крайний красный (RE) (717±12 нм), ближний инфракрасный (NIR) (842 ±57 нм) и термальный (LWIR 8-14 мкм). Разрешение спектральных каналов 3,2 Mp (2064 x 1544) и термального канала: 160 x 120.



Рисунок 1 – БПЛА *DJI Matrice 200 v2* с мультиспектральной камерой *MicaSense Altum* (съемка 28 июня 2022 года)

Figure 1 – UAV *DJI Matrice 200 v2* with *MicaSense Altum* multispectral camera (shot on June 28, 2022)

Мониторинг селекционных посевов сои осуществлялся на высоте 120 метров. Мобильное приложение *DJI Pilot* использовалось для планирования и совершения полетов. Всего осуществлено 6 полетов: 16 июня 2022, 28 июня 2022, 12 июля 2022, 26 июля 2022, 11 августа 2022, 24 августа 2022.

Фотограмметрическая обработка данных осуществлялась в программном обеспечении *Pix4DMapper*. Для обработки *rgb*-данных использовался шаблон *3D Maps*, при обработке мультиспектральным данных использовали шаблон *Ag Multispectral*.

После каждого полета были созданы карты пяти вегетационных индексов и рассчитаны их средние значения для каждой из делянок: *Normalized difference vegetation index (NDVI)*, *Normalized difference Red Edge index (NDRE)*, *Chlorophyll Index Green (CIGreen)*, *Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI)*, *Modified Chlorophyll Absorption in Reflectance Index (MCARI)* (1-5):

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (1)$$

$$NDRE = \frac{NIR - RE}{NIR + RE} \quad (2)$$

$$ClGreen(GCI) = \frac{NIR}{G} - 1 \quad (3)$$

$$GNDVI = \frac{NIR - G}{NIR + G} \quad (4)$$

$$MCARI = [(RE - R) - 0,2 \times (RE - G)] \times \frac{RE}{R} \quad (5)$$

Результаты и обсуждение. Значения изучаемых индексов изменялись в течение всего периода наблюдений (рисунок 2). Числовые показатели индексов росли по мере развития растений сои от начала июня, достигая максимальных значений в конце июля, начале августа, а к концу августа снижаясь. Наибольшие значения достигались в конце июля, начале августа, что соответствовало фазам цветения и налива бобов у сои. В эти фазы рост растений сои останавливается, не формируются новые листья, а старые постепенно начинают отмирать. Этот процесс проходит постепенно по мере налива бобов и созревания семян и завершается усыханием всего растения, наблюдается уменьшением значений вегетационных индексов. Вегетационный индекс ClGreen наиболее ярко отражает изменения, после 11 августа 2022 года наблюдается резкое падение значений.

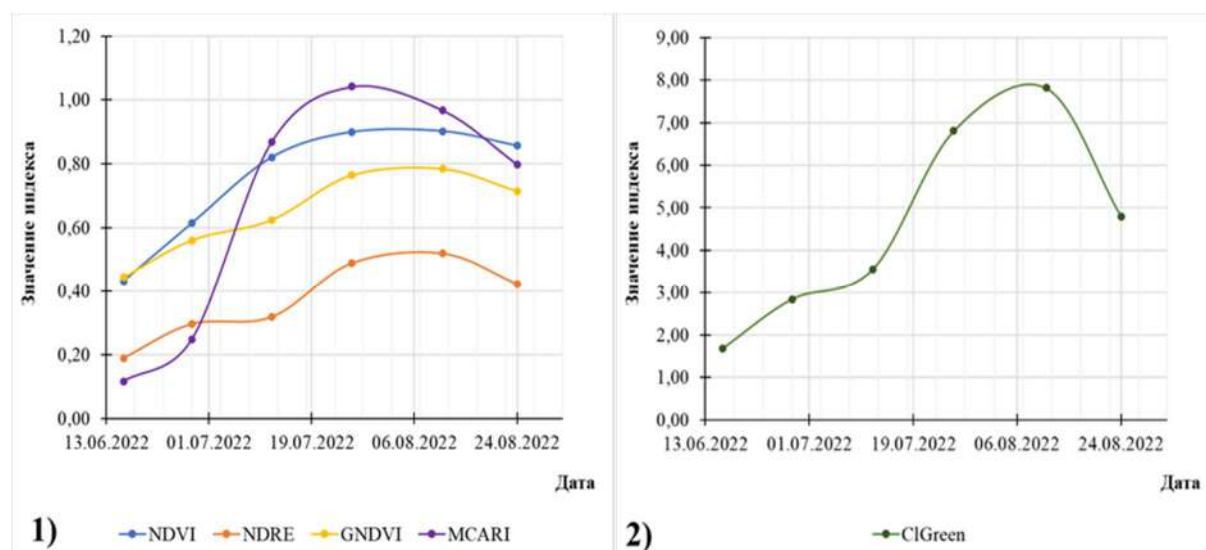


Рисунок 2 – Значения вегетационных индексов в течение вегетационного периода 2022 года
1) Вегетационные индексы *NDVI*, *NDRE*, *GNDVI*, *MCARI*; 2) Вегетационный индекс *ClGreen*
Figure 2 – Values of vegetation indices during the growing season of 2022 1) Vegetation indices *NDVI*, *NDRE*, *GNDVI*, *MCARI*; 2) Vegetation index *ClGreen*

Для определения взаимосвязей между полевой всхожестью и вегетационными индексами нами были выбраны питомники, имеющие различия как по лабораторной всхожести семян, так и по общей адаптивности растений к местным условиям возделывания в данной почвенно-климатической зоне. Питомники конкурсного и предварительного сортоиспытания состояли из сортов селекции ФГБНУ ФНЦ ЗБК, сортов стандартов и перспективных селекционных образцов. Так, питомник конкурсного сортоиспытания включал в себя 2 стандарта: Зуша и Алиса, а также перспективные селекционные номера. Питомник предварительного сортоиспытания содержал в себе больше разнообразных сортов и селекционных номеров, здесь были представлены 7 сортов стандартов: Мезенка, Ланцетная, Осмонь, Лидер 1, Лидер 10, Белгородская 7, Белгородская 48. Все представленные в этих питомниках формы хорошо приспособлены к условиям возделывания в зоне, семена для их посева имели высокую лабораторную всхожесть. Селекционный и коллекционный питомники,

напротив, состояли из неоднородных селекционных образцов, семена которых часто имели низкие значения энергии прорастания, силы роста семян и лабораторной всхожести. Всё это отразилось на полевой всхожести.

Интенсивные дожди, прошедшие после проведённого 24-25 мая посева, также сильно повлияли на полевую всхожесть. Семена, которые долго находились на хранении, имели механические повреждения или были заражены болезнями, дали ослабленные всходы и не смогли пробить корку, сформировавшуюся на поверхности почвы.

Группа селекционных образцов с относительно стабильной всхожестью, включала в себя питомники конкурсного и предварительного сортоиспытания. В этой группе образцы на 115 делянках из 120 имели полевую всхожесть в пределах 40-80%, при этом на большинстве из них (93 делянки) всхожесть была от 50 до 70% (рисунок 3). К группе с менее стабильной полевой всхожестью относились сорта и селекционные номера коллекционного и селекционного питомников. В этой группе полевая всхожесть колебалась в широких пределах, так, на 25 из 110 делянок полевая всхожесть была низкой – от 7,4 до 40%, 36 номеров характеризовались всхожестью от 40 до 60%, ещё 49 селекционных образцов обладали всхожестью от 60 до 90 % (рисунок 4).

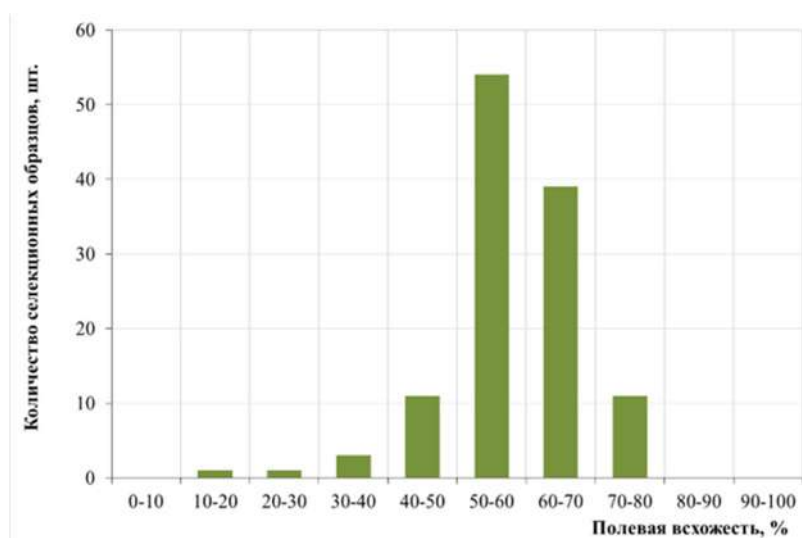


Рисунок 3 – Распределение полевой всхожести, среди делянок питомников конкурсного и предварительного сортоиспытания (2022 г.)

Figure 3 – Distribution of field germination, among plots of nurseries of competitive and preliminary variety testing (2022)

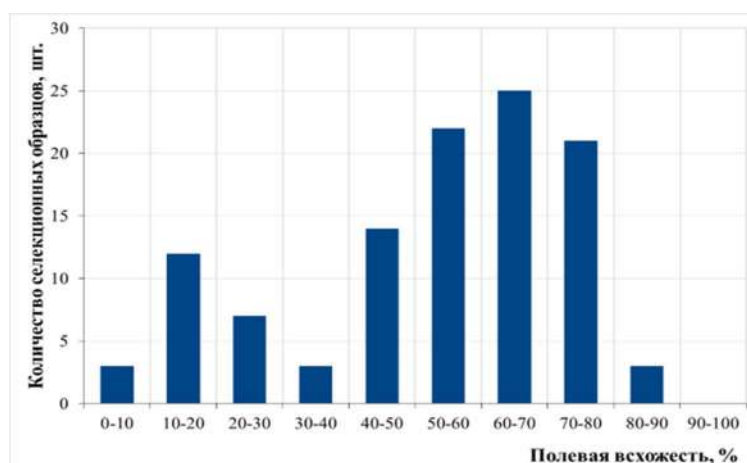


Рисунок 4 – Распределение полевой всхожести, среди делянок коллекционного и селекционного питомников (2022 г.)

Figure 4 – Distribution of field germination, among plots of collection and breeding nurseries (2022)

Проведённый корреляционный анализ между полевой всхожестью и изучаемыми вегетационными индексами показал значительные различия в значениях коэффициента корреляции (таблицах 1, 2). Представленные в таблицах коэффициенты корреляции отличаются: так, значения средней корреляционной зависимости, где $r=0,3-0,7$ выделены жёлтым, значения, соответствующие сильной корреляционной зависимости, где $r>0,7$ выделены зелёным [5].

Таблица 1 – Значение коэффициента корреляции между полевой всхожестью и значениями вегетационных индексов на делянках питомников конкурсного и предварительного сортоиспытания (2022 г.)

Table 1 – The value of the correlation coefficient between field germination and the values of vegetation indices in the plots of nurseries of competitive and preliminary variety testing (2022)

Дата съёмки / Date of Shooting	Значение коэффициента корреляции между полевой всхожестью и вегетационными индексами / Value of the correlation coefficient between field germination and vegetation indices				
	NDVI	NDRE	CIGreen	GNDVI	MCARI
16 июня / June 16	0,48	0,44	0,45	0,44	0,49
28 июня / June 28	0,57	0,46	0,42	0,51	0,40
12 июля / July 12	0,48	0,25	0,23	0,27	0,58
26 июля / July 26	0,35	0,02	0,04	0,07	0,47
11 августа / August 11	-0,03	-0,26	-0,20	-0,18	0,43
24 августа / August 24	-0,11	-0,27	0,28	-0,21	0,15

Таблица 2 – Значение коэффициента корреляции между полевой всхожестью и значениями вегетационных индексов на делянках коллекционного и селекционного питомников (2022 г.)

Table 2 – The value of the correlation coefficient between field germination and the values of vegetation indices in the plots of collection and breeding nurseries (2022)

Дата съёмки / Date of Shooting	Значение коэффициента корреляции между полевой всхожестью и вегетационными индексами / Value of the correlation coefficient between field germination and vegetation indices				
	NDVI	NDRE	CIGreen	GNDVI	MCARI
16 июня / June 16	0,43	0,46	0,47	0,49	0,31
28 июня / June 28	0,88	0,87	0,86	0,89	0,81
12 июля / July 12	0,63	0,68	0,74	0,71	0,74
26 июля / July 26	0,64	0,69	0,74	0,71	0,72
11 августа / August 11	0,61	0,60	0,57	0,63	0,58
24 августа / August 24	0,47	0,22	-0,10	0,31	0,63

Как видно из таблицы 1 средняя корреляционная зависимость между полевой всхожестью и всеми рассмотренными индексами на делянках питомников конкурсного и предварительного сортоиспытания сохранялась в течение двух недель между съёмками 16 и 28 июня. Значение коэффициента корреляции изменялось по всем индексам от 0,4 до 0,57, наиболее высоким оставаясь для индекса *NDVI*. Во время начала цветения большинства образцов (съёмка 12 июля (рисунок 5)) индексы *NDRE*, *CIGreen* и *GNDVI* имеют низкие значения коэффициента корреляции. В тоже время между полевой всхожестью и индексами *NDVI* и *MCARI* сохраняется средняя корреляционная зависимость, составляя $r=0,48$ и $r=0,58$ соответственно. В период завершения

интенсивного цветения сои 26 июля зависимость между изучаемыми показателями снизилась до $r=0,35$ для *NDVI* и $r=0,47$ для *MCARI*. Во время начала созревания 11 августа корреляционная зависимость была характерна только для индекса *MCARI* ($r=0,43$). Во время начала созревания многих селекционных образцов (24 августа) сильных и средних корреляций между индексами и полевой всхожестью выявлено не было.

Представленные в таблице 2 корреляционные связи между полевой всхожестью и изучаемыми вегетационными индексами на делянках коллекционного и селекционного питомников значительно отличаются от рассмотренных выше. Так, в период интенсивного роста сои 16 июня зависимость была средней, коэффициент корреляции различался по разным индексам в пределах от 0,31 до 0,49. Съёмка 28 июня выявила сильную корреляционную зависимость, значения коэффициента корреляции по всем индексам были очень высокими от 0,81 до 0,89. Это говорит о тесной взаимосвязи между изучаемыми показателями. К началу цветения селекционных номеров (12 июля (рисунок 5)) на большинстве делянок значения коэффициента корреляции снизились, всё ещё оставаясь достаточно высокими. Для индексов *CIGreen*, *GNDVI*, *MCARI* корреляция с полевой всхожестью была сильной – $r=0,71-0,74$. Для индексов *NDVI* и *NDRE* корреляция была средней со значениями $r=0,63$ и $0,68$. Дата следующей съёмки 26 июля соответствовала окончанию цветения большинства селекционных номеров, однако аналогичные показатели корреляции почти не менялись по сравнению со съёмкой 12 июля. 11 августа наблюдались средние корреляционные зависимости, характерные для большинства индексов с различиями r от 0,57 до 0,63. Во время последней съёмки 24 августа многие из изучаемых селекционных номеров находились в стадии начала созревания, однако некоторые индексы всё ещё коррелировали в средней степени с полевой всхожестью, это индексы *MCARI* $r=0,63$; *NDVI* $r=0,47$; *GNDVI* $r=0,31$.

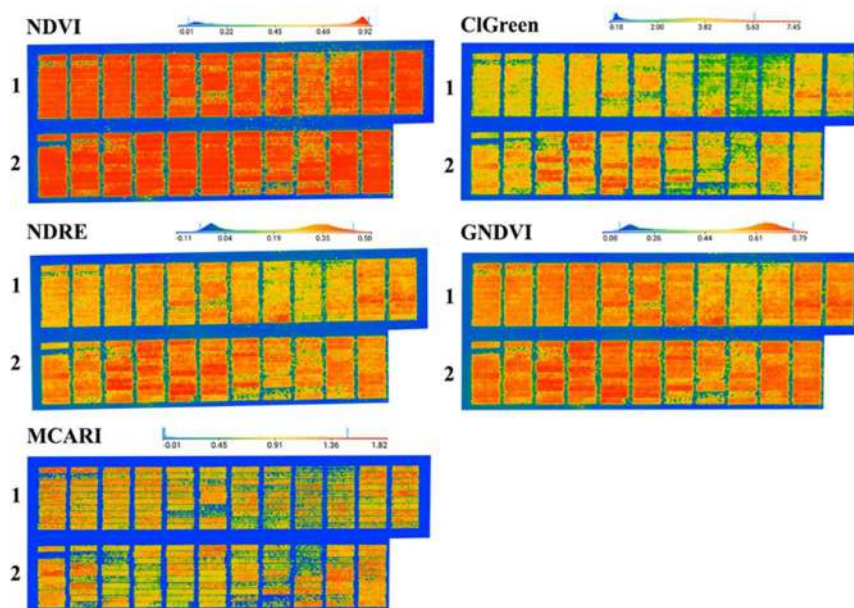


Рисунок 5 – Карты вегетационных индексов *NDVI*, *NDRE*, *CIGreen*, *GNDVI*, *MCARI* на начало цветения большинства селекционных номеров сои (съёмка от 12.07.2022): 1) Питомники конкурсного и предварительного сортоиспытания; 2) коллекционный и селекционный питомники
Figure 5 – Maps of vegetation indices *NDVI*, *NDRE*, *CIGreen*, *GNDVI*, *MCARI* at the beginning of flowering of most soybean breeding numbers (survey from 12.07.2022): 1) Nurseries of competitive and preliminary variety testing; 2) Collection and breeding nurseries

Закключение. 1. Выявленные и рассмотренные выше корреляционные зависимости указывают на связь между полевой всхожестью и изучаемыми вегетационными индексами.

2. Испытания на двух группах селекционных образцов позволило определить, что данные зависимости выражены тем сильнее, чем больше различия значений полевой всхожести сортообразцов на делянках. Так, для питомников конкурсного и предварительного

сортоиспытания корреляционные зависимости были главным образом средние при небольших различиях полевой всхожести. В то же время на питомниках коллекции и селекционном различия значительны, а корреляционные зависимости сильнее. Наибольшие значения коэффициент корреляции по большинству индексов приобретает на дату съёмки 28 июня, что соответствует 25 дням от появления первых всходов. Наиболее чувствительными к показателям полевой всхожести оказались индексы *MCARI* и *NDVI*, для которых средняя корреляционная зависимость сохранялась до начала августа (завершения цветения большинства селекционных номеров) при средних различиях полевой всхожести и до конца августа (начало созревания большинства сортов/образцов сои) при высоких различиях полевой всхожести.

3. Применение вегетационных индексов для оценки полевой всхожести сои целесообразно:

- в годы с нестабильной полевой всхожестью в качестве непрямого метода её оценки;
- при значительных различиях среди изучаемых образцов;
- при большом количестве изучаемых форм на обширных и разнородных участках посевов;
- при испытаниях селекционного материала и экологических испытаниях для снижения объёмов трудоёмких ручных наземных работ.

Conclusions. 1. The correlations identified and discussed above indicate a relationship between field germination and the studied vegetation indices.

2. Tests on two groups of breeding samples allowed us to determine that these dependencies are expressed the more strongly, the greater the differences in the values of field germination of cultivars on plots. So, for nurseries of competitive and preliminary variety testing, the correlations were mainly average with small differences in field germination. At the same time, the differences in the collection and breeding nurseries are significant, and the correlations are stronger. The correlation coefficient for most indices acquired the highest values on the date of shooting on June 28, which corresponds to 25 days from the appearance of the first shoots. The most sensitive to field germination indicators were the *MCARI* and *NDVI* indices, for which the average correlation was maintained until the beginning of August (the end of flowering for most breeding numbers) with average differences in field germination and until the end of August (the beginning of ripening for most soybean varieties) with high differences in field germination.

3. The use of vegetation indices to assess the field germination of soybeans is advisable:
- in years with unstable field germination as an indirect method of its assessment;
 - with significant differences among the studied samples;
 - with a large number of studied forms on extensive and heterogeneous areas of crops;
 - when testing breeding material and environmental tests to reduce the volume of labor-intensive manual ground work.

Библиографический список

1. Балабанов В. И., Елесеев В. В., Солдатов П. Д., Бабанский И. В., Романенкова М. С. Беспилотные машины и их применение в сельском хозяйстве. Наука в центральной России. 2020. № 3 (45). С. 31-40.
2. Бейлис В. М., Ценч Ю. С. Методологические аспекты стандартизации машинных технологий производства продукции растениеводства. Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2019. № 1 (34). С. 61-67.
3. Лачуга Ю. Ф., Измайлов А. Ю., Лобачевский Я. П., Шогенов Ю. Х. Интенсивные машинные технологии, роботизированная техника и цифровые системы для производства основных групп сельскохозяйственной продукции. Техника и оборудование для села. 2018. № 7. С. 2-7.
4. Лобачевский Я. П., Дорохов А. С. Перспективные научно-технические проекты в сфере механизации и роботизации сельского хозяйства. Формирование единого научно-технологического пространства Союзного государства: проблемы, перспективы, инновации. Минск, 2017. С. 333-343.
5. Лобачевский Я. П., Дорохов А. С. Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2021. Т. 15. № 4. С. 6-10.
6. Измайлов А. Ю. Интеллектуальные технологии и роботизированные средства в сельскохозяйственном производстве. Вестник Российской академии наук. 2019. Т. 89. № 5. С. 536-538.
7. Лобачевский Я. П., Ценч Ю. С. Принципы формирования систем машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации технологических процессов в растениеводстве. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2022. Т. 16. № 4. С. 4-12.
8. Вилюнов С. Д., Зотиков В. И., Сидоренко В. С., Старикова Ж. В., Мальцев А. А. Применение вегетационных индексов в селекции озимой мягкой пшеницы. Зернобобовые и крупяные культуры. 2022. № 3 (43). С. 73-83.
9. Манылова О. В., Жаркова С. В. Полевая всхожесть и сохранность растений сои к уборке в зависимости от элементов агротехнологии. Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2021. № 12-3 (63). С. 41-43.

10. Полухин А. А., Цуканова З. Р., Гусева А. А., Молошонок А. А., Латынцева Е. В. Организация первичного семеноводства новых сортов зерновых, зернобобовых, крупяных культур и сои. Земледелие. 2022. № 5. С. 28-31.
11. Бельшикина М. Е. Современное состояние и перспективы мирового и российского рынков сои. Аграрная Россия. 2013. № 6. С. 7-11.
12. Belyshkina M., Zagoruiko M., Mironov D. The study of possible soybean introduction into new cultivation regions based on the climate change analysis and the agro-ecological testing of the varieties. Agronomy. 2023. Vol. 13. No. 2. P. 610.
13. Kurbanov R., Zakharova N. Justification and selection of vegetation indices to determine the early soybeans readiness for harvesting. E3S Web of Conferences, InterAgromash 2021. Rostov-on-Don: EDP Sciences, 2021. Vol. 273. P. 01008.

References

1. Balabanov V. I., Eleseev V. V., Soldatov P. D., Babansky I. V., Romanenkova M. S. Unmanned vehicles and their application in agriculture. Science in Central Russia. 2020. № 3 (45). Pp. 31-40.
2. Beilis V. M., Tsench Yu. S. Methodological aspects of standardization of machine technologies for crop production. Electrotechnologies and electrical equipment in agroindustrial complex. 2019. № 1 (34). Pp. 61-67.
3. Lachuga Y. F., Izmailov A. Yu., Lobachevsky Y. P., Shogenov Y. H. Intensive machine technologies, robotic technology and digital systems for the production of the main groups of agricultural products. Technics and equipment for rural areas. 2018. № 7. Pp. 2-7.
4. Lobachevsky Y. P., Dorokhov A. S. Perspective scientific and technical projects in the field of mechanization and robotization of agriculture. Formation of a common scientific and technological space of the Union State: problems, prospects, innovations. Minsk, 2017. Pp. 333-343.
5. Lobachevsky Y. P., Dorokhov A. S. Digital technologies and robotized technical means for agriculture. Agricultural machines and technologies. 2021. V. 15. № 4. Pp. 6-10.
6. Izmailov A. Yu. Intellectual technologies and robotic means in agricultural production. Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2019. V. 89. № 5. Pp. 536-538.
7. Lobachevskiy Ya. P., Tsench Yu. S. Principles of forming the systems of machines and technologies for complex mechanization and automation of technological processes in crop production (in Russian). Agricultural machines and technologies. 2022. V. 16. № 4. Pp. 4-12.
8. Vilyunov S. D., Zotikov V. I., Sidorenko V. S., Starikova J. V., Maltsev A. A. Application of vegetation indices in the selection of winter soft wheat. Grain legumes and cereals. 2022. № 3 (43). Pp. 73-83.
9. Manylova O. V., Zharkova S. V. Field germination and safety of soybean plants to harvesting depending on the elements of agrotechnology. International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2021. № 12-3 (63). Pp. 41-43.
10. Polukhin A. A., Tsukanova Z. R., Guseva A. A., Moloshonok A. A., Latyntseva E. V. Organization of primary seed production of new varieties of cereals, legumes, cereals and soybeans. Agriculture. 2022. No. 5. Pp. 28-31.
11. Belyshkina M. E. The current state and prospects of the world and Russian soybean markets. Agrarian Russia. 2013. No. 6. Pp. 7-11.
12. Belyshkina M., Zagoruiko M., Mironov D. The study of possible soybean introduction into new cultivation regions based on the climate change analysis and the agro-ecological testing of the varieties. Agronomy. 2023. Vol. 13. No. 2. P. 610.
13. Kurbanov R., Zakharova N. Justification and selection of vegetation indices to determine the early soybeans readiness for harvesting. E3S Web of Conferences, InterAgromash 2021. Rostov-on-Don: EDP Sciences, 2021. Vol. 273. P. 01008.

Информация об авторах

Кирюхин Сергей Викторович, кандидат сельскохозяйственных наук, Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур (ФГБУ ФНЦ ЗБК) (Российская Федерация, 302502, Орловская область, поселок Стрелецкий, ул. Молодежная, д. 10, корп. 1), e-mail: sergsv2010@mail.ru

Курбанов Рашид Курбанович, кандидат технических наук, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (ФГБУ ФНАЦ ВИМ) (Российская Федерация, 109428, Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5), e-mail: celeba@outlook.com

Гуринович Сергей Олегович, старший научный сотрудник Федерального научного центра зернобобовых и крупяных культур (ФГБУ ФНЦ ЗБК) (Российская Федерация, 302502, Орловская область, поселок Стрелецкий, ул. Молодежная, д. 10, корп. 1), e-mail: sergur17@mail.ru

Панарина Вероника Игоревна, кандидат сельскохозяйственных наук, Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур (ФГБУ ФНЦ ЗБК) (Российская Федерация, 302502, Орловская область, поселок Стрелецкий, ул. Молодежная, д. 10, корп. 1), e-mail: ver1183@yandex.ru

Захарова Наталья Ивановна, младший научный сотрудник Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (ФГБУ ФНАЦ ВИМ) (Российская Федерация, 109428, Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5), e-mail: smedia@vim.ru

Author's Information

Kiryukhin Sergey Viktorovich, Candidate of Agricultural Sciences, Federal Scientific Center of Legumes and Cereals (Russian Federation, 302502, Oryol region, Streletsky village, Molodezhnaya str., 10, building 1), e-mail: sergsv2010@mail.ru

Kurbanov Rashid Kurbanovich, Candidate of Engineering Sciences, Federal Scientific Agroengineering Center of VIM (FSBI FNAC VIM) (Russian Federation, 109428, Moscow, 1st Institutskiy proezd, 5), e-mail: celeba@outlook.com

Gurinovitch Sergey Olegovich, Senior Researcher, Federal Scientific Center of Legumes and Cereals (Russian Federation, 302502, Oryol region, Streletsky village, Molodezhnaya str., 10, building 1), e-mail: sergur17@mail.ru

Panarina Veronika Igorevna, Candidate of Agricultural Sciences, Federal Scientific Center of Legumes and Cereals (Russian Federation, 302502, Oryol region, Streletsky village, Molodezhnaya str., 10, building 1), e-mail: ver1183@yandex.ru

Zakharova Natalia Ivanovna, Junior Researcher at Federal Scientific Agroengineering Center VIM (FSBI FNAC VIM); (Russian Federation, 109428, Moscow, 1st Institutskiy proezd, 5), e-mail: smedia@vim.ru