

АГРОНОМИЯ, ЛЕСНОЕ И ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО
AGRONOMY, FORESTY AND WATER MANAGEMENTОбщее земледелие и растениеводство
General Farming and Crop Production

Научная статья

УДК 631.847.2126:633.1:631.87

DOI: 10.55196/2411-3492-2026-2-52-7-14

**Биопрепараты как фактор изменения индексов гиперспектрального
имиджинга (MRESRI, CPHL) зернофуражных культур
в условиях Западной Сибири****Оксана Александровна Юсова^{✉1}, Наталья Николаевна Шулико²,
Петр Николаевич Николаев³**

Омский аграрный научный центр, проспект Королева, 26, Омск, Россия, 644012

^{✉1}yusova@anc55.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3679-8985>²shuliko-n@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5641-434X>³nikolaev@anc55.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5192-2967>

Аннотация. Путем применения метода гиперспектрального имиджинга получают большой объем информации о состоянии растений, выраженной вегетационными индексами, в том числе индексами хлорофилла. Хлорофилл включает два основных компонента: хлорофилл *a*; хлорофилл *b*. Они различаются по своему строению и распределению в природе. Гиперспектральный имиджинг физиологического состояния растений сельскохозяйственных культур позволяет управлять качественными и количественными показателями урожайности. Цель исследования – оценить влияние биопрепаратов на изменение индексов гиперспектрального имиджинга и урожайности зернофуражных культур для условий Омского Прииртышья. Исследования проводили в 2023, 2024 гг. в полевом опыте южной лесостепи Омской области. Объекты исследований: сорт ярового овса Сибирский геркулес; сорт ярового ячменя Омский 101; бактериальный препарат для инокуляции семян Мизорин (действующее начало *Arthrobactermysorens* 7); препарат азотфиксирующих бактерий фунгицидно-стимулирующего действия Флавобактерин (действующее начало *Flavobacterium* sp. L-30). В посевах ярового ячменя на фоне инокуляции семян Мизорином и Флавобактерином отмечено изменение индексов гиперспектрального имиджинга по отношению к контролю: MRESRI (+3,22 и 3,70 у. ед.), CPHLT (+4,13 и 0,74 у. ед.), CPHLA (+4,12 и 2,52 у. ед.); в посевах ярового овса: CPHLT (+2,52 и 1,33 у. ед.); CPHLB (+1,80 и 0,80 у. ед.); только по Флавобактерину MCARI (+3,73 у. ед.). В опытах при обработке семян ярового овса Флавобактерином сопряженность урожайности с индексами CPHLT, CPHLA, CPHLB менялась от средней положительной в 2023 г. ($r=0,332$) до сильной отрицательной в 2024 г. ($r=-0,955$). В опытах при обработке семян ярового ячменя и овса Мизорином отмечена сильная прямая корреляционная связь ($r=0,736-0,932$) урожайности с MRESRI, CPHLT, CPHLA, CPHLB.

Ключевые слова: гиперспектральный имиджинг, вегетационные индексы, биопрепараты, овес, ячмень, урожайность

Для цитирования: Юсова О. А., Шулико Н. Н., Николаев П. Н. Биопрепараты как фактор изменения индексов гиперспектрального имиджинга (MRESRI, CPHL) зернофуражных культур в условиях Западной Сибири // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2026. № 2(52). С. 7–14. DOI: 10.55196/2411-3492-2026-2-52-7-14

Original article

Biologics as a factor of change in hyperspectral image indices (MRESRI, CPHL) of grain crops in Western Siberia

Oksana A. Yusova^{✉1}, Natalya N. Shuliko², Peter N. Nikolaev³

Omsk Agrarian Scientific Center, 26 Korolev Avenue, Omsk, Russia, 644012

¹yusova@anc55.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3679-8985>

²shuliko-n@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5641-434X>

³nikolaev@anc55.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5192-2967>

Abstract. A large amount of information about the state of plants is obtained by applying the method of hyperspectral imaging, which is expressed by vegetation indices, including chlorophyll indices. Chlorophyll has two main components: chlorophyll a; chlorophyll b. They differ in their structure and distribution in nature. Hyperspectral imaging of the physiological state of crop plants allows you to manage qualitative and quantitative indicators of yield. The purpose of the studies is to assess the impact of biologics on changes in hyperspectral imaging indices and grain crop yields for the conditions of the Omsk Irtysh region. Studies were carried out in 2023, 2024. in the field experience of the southern forest-steppe of the Omsk region. Research objects: spring oat variety Siberian hercules, spring barley variety Omsky 101; bacterial preparation for inoculation of seeds Mizorin (active principle *Arthrobactermysorens* 7), preparation of nitrogen-fixing fungicide-stimulating bacteria Flavobacterin (active principle *Flavobacterium* sp. L-30). MRESRI (+3.22 and 3.70 units), CPHLT (+4.13 and 0.74 units), CPHLA (+4.12 and 2.52 units) changed in hyperspectral imaging indices in spring barley inoculated with Mizorin and Flavobacterin seeds unit). In spring oat crops: CPHLT (+2.52 and 1.33 units); CPHLB (+1.80 and 0.80 units); Flavobacterin MCARI only (+3.73 units). In experiments when treating spring oat seeds with Flavobacterin, the yield conjugation with the indices CPHLT, CPHLA, CPHLB changed from average positive in 2023 ($r=0.332$) to strong negative in 2024 ($r=-0.955$). In experiments with treatment of spring barley and oat seeds by Mizorin, a strong direct correlation ($r=0.736-0.932$) of yield with MRESRI, CPHLT, CPHLA, CPHLB was noted.

Keywords: hyperspectral image, vegetation index, biological product, oats, barley, yield

For citation: Yusova O.A., Shuliko N.N., Nikolaev P.N. Biologics as a factor of change in hyperspectral image indices (MRESRI, CPHL) of grain crops in Western Siberia. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov.* 2026;2(52):7–14. (In Russ.). DOI: 10.55196/2411-3492-2026-2-52-7-14

Введение. В настоящее время активно развиваются цифровые технологии сельскохозяйственного производства, которые позволяют осуществлять контроль за развитием растений. Одним из таких методов является спектрометрия [1]. Путем применения метода гиперспектрального имиджинга получают большой объем информации о состоянии растений, которая выражается вегетационными индексами. Они рассчитываются путем проведения различных операций с разными световыми каналами и позволяют классифицировать исследуемые объекты по состоянию биомассы [2, 3].

С помощью листового спектрометра на основе различных спектров отраженного и

поглощенного света определяется количество соединений хлорофилла, антоцианов, каратиноидов [3]. Посредством гиперспектрального имиджинга определяются в том числе индексы хлорофилла. Хлорофилл включает два основных компонента: хлорофилл *a*; хлорофилл *b*. Они различаются по своему строению и распределению в природе.

Хлорофилл *a* встречается повсеместно в организме, способном осуществлять кислородный фотосинтез, производя кислород как побочный продукт. Он обнаруживается в малых концентрациях у определенных видов бактерий, ведущих анаэробный фотосинтез [4, 5].

Второй по распространенности тип – хлорофилл *b*, встречающийся в клетках орга-

лажнение в мае и июле (в 2,5 раза выше нормы); в июне и августе недостаток увлажнения составил 16 и 18%.

Повышенные температуры воздуха в 2023 г. отмечены с мая по июль (превышение среднемноголетних данных от +0,2 °C в

мае до +6,6 °C в июне). В 2024 г. повышенные температуры воздуха отмечены только в июле (на 2,0 °C); в мае недобор температур составил 3,0 °C; в июле и августе – на уровне среднемноголетних.

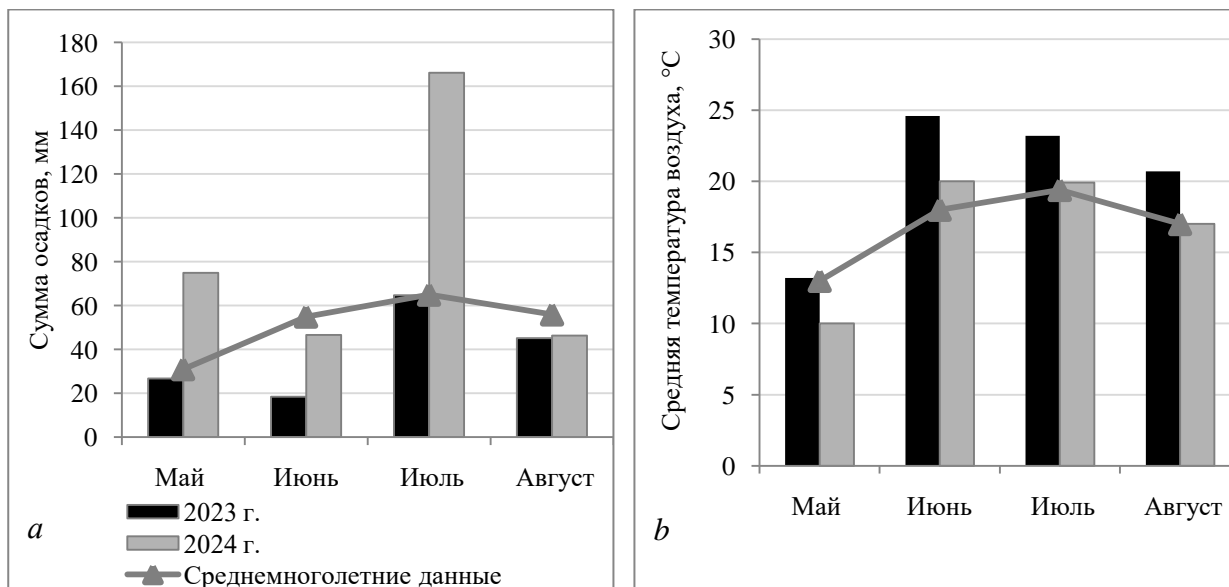


Рисунок 2. Характеристика периодов вегетации по климатическим условиям: *a* – сумма осадков, мм; *b* – средняя температура воздуха, °C

Figure 2. Characteristics of vegetation periods by climatic conditions: *a* – amount of precipitation, mm; *b* – average air temperature, °C

Результаты исследования. Предпосевная обработка семян ячменя препаратом Мизорин оказала влияние на увеличение содержания хлорофилла в растениях ярового ячменя, в частности хлорофилла *b*. Предпосевная обработка препаратами Мизорином и Флабакте-рином способствовала росту общего хлорофилла и хлорофилла *a*, а также модифицированного индекса простого соотношения красного края (MRESRI) (рис. 3). Изменение перечисленных вегетационных индексов гиперспектрального имиджинга в посевах ячменя отмечено в следующих диапазонах:

– MRESRI составил 5,55 у. ед. на фоне Мизорина и 6,02 у. ед. на фоне Флавобакте-рина (+3,22 и 3,70 у. ед. к контролю соответственно);

– СРНLT составил 27,85 у. ед. в опыте с Мизорином и 24,45 у. ед. – Флавобакте-рином (+4,13 и 0,74 у. ед. к контролю соответственно);

– СРНLA составил 10,49 у. ед. при иноку-ляции Мизорином и 8,88 у. ед. Флавобакте-рином (+4,12 и 2,52 у. ед. к контролю соот-

ветственно). Повышение индексов СРНLT и СРНLA на фоне применения биопрепаратов позволяет говорить об увеличении в расте-ниях общего хлорофилла и хлорофилла *a*.

Предпосевная обработка биопрепаратами растений овса способствовала повышению значений индексов хлорофилла (общего и *b*), а также коэффициента поглощения хлорофилла.

Изменение перечисленных вегетацион-ных индексов гиперспектрального имиджинга в посевах овса отмечено в следующих диапазонах:

– СРНLT 29,51 у. ед. на фоне Мизорина и 28,32 у. ед. – на фоне Флавобакте-рина (+2,52 и 1,33 у. ед. к контролю соответственно);

– СРНLB (количество хлорофилла *b*) 18,73 у. ед. с Мизорином и 17,72 у. ед. – с Флавобакте-рином (+1,80 и 0,80 у. ед. к кон-тролю соответственно).

Урожайность – ключевой признак, опре-деляющий эффективность агрономических приемов, применяемых в течение периода вегетации.

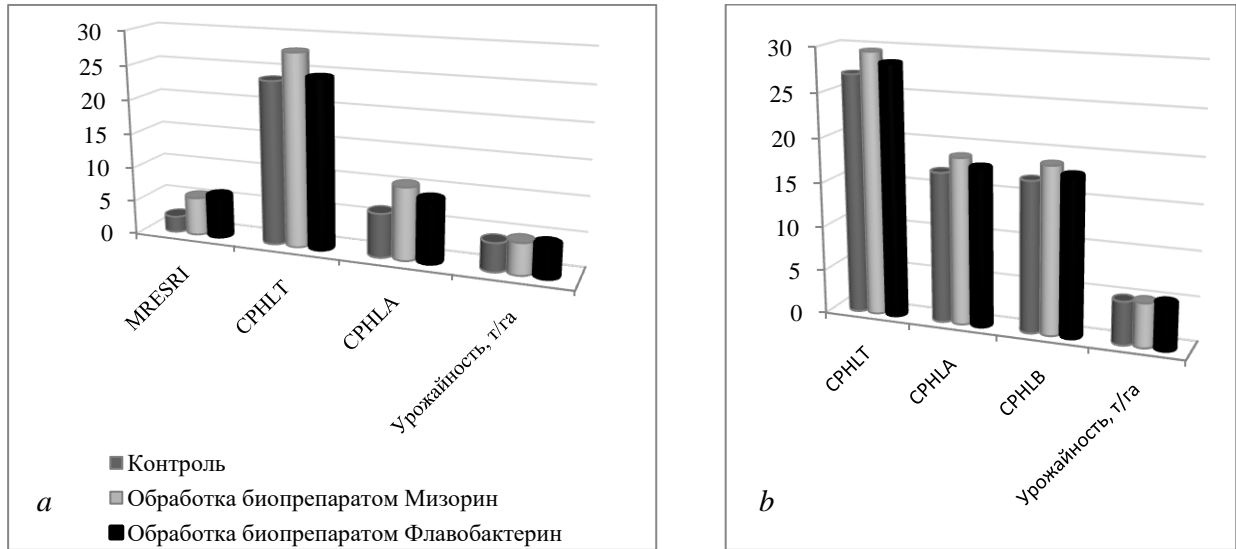


Рисунок 3. Изменение вегетационных индексов MRESRI и CPHLT в зависимости от применения биопрепаратов: *a* – яровой ячмень; *b* – яровой овес
Figure 3. Change in MRESRI and CPHLT vegetation indices by biologics application: *a* – spring barley; *b* – spring oats

Достоверная прибавка к контролю по урожайности при инокуляции Мизорином у обеих культур отмечена в засушливом 2023 году (+0,69 и +0,19 т/га у ячменя и овса соответственно); при обработке Флавобактерином – в условиях переувлажненного 2024 года (+0,32 и +0,42 т/га к контролю соответственно).

О сложности взаимодействия биопрепаратов с физиологическими процессами растений и их влиянием на формировании урожайности можно судить по коэффициентам корреляции (рис. 4).

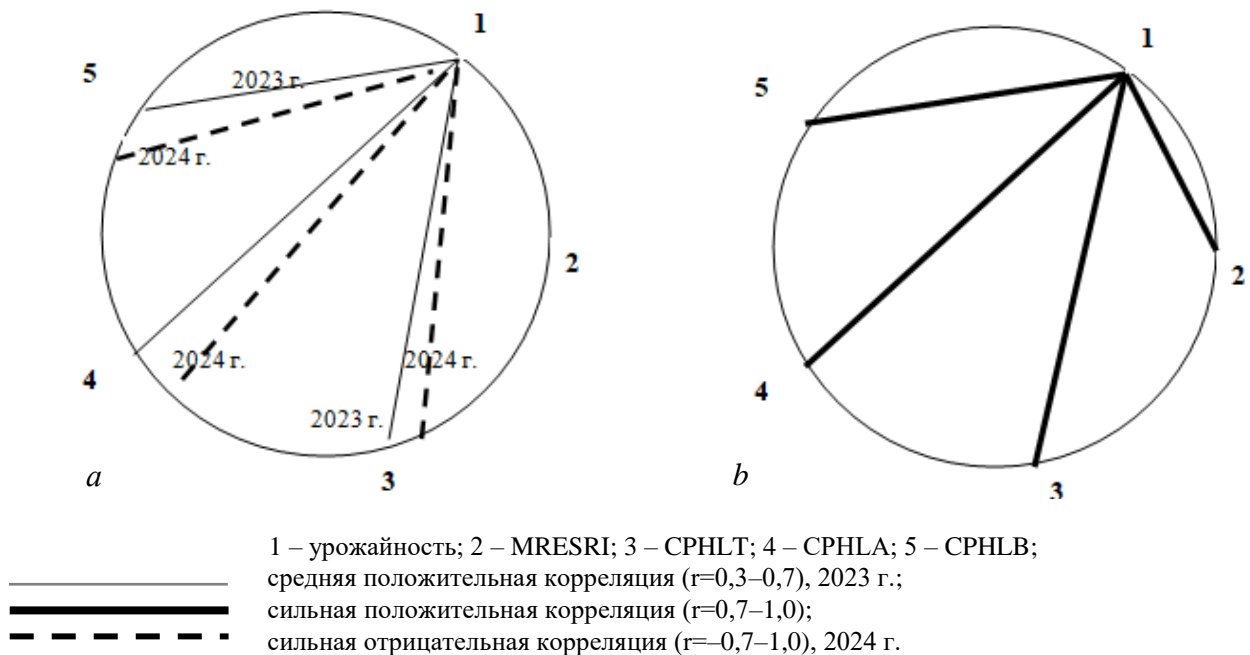


Рисунок 4. Корреляционная зависимость урожайности с индексами гиперспектрального имиджинга: *a* – обработка семян ярового овса Флавобактерином; *b* – обработка семян ярового ячменя и овса Мизорином
Figure 4. Correlation of yield with hyperspectral imaging indices: *a* – treatment of spring oat seeds with Flavobacterin; *b* – treatment of spring barley and oat seeds with Mizorin

В опытах ярового овса по Флавобактерину сопряженность урожайности с индексами CPHLT, CPHLA, CPHLB менялась от средней положительной в 2023 г. ($r=0,332$) до сильной отрицательной в 2024 г. ($r=-0,955$).

В опытах при обработке семян ярового ячменя и овса Мизорином отмечена сильная прямая корреляционная связь ($r=0,736-0,932$) урожайности с индексами гиперспектрального имиджинга MRESRI, CPHLT, CPHLA, CPHLB.

Выводы

1. В среднем за период исследований в посевах ярового ячменя отмечено изменение индексов гиперспектрального имиджинга на фоне инокуляции семян Мизорином и Флавобактерином по отношению к контролю: MRESRI (+3,22 и 3,70 у. ед.), CPHLT (+4,13 и 0,74 у. ед.), CPHLA (+4,12 и 2,52 у. ед.).

2. В среднем за период исследований в посевах ярового овса отмечено изменение индексов гиперспектрального имиджинга на фоне инокуляции семян Мизорином и Флавобактерином по отношению к контролю: CPHLT (+2,52 и 1,33 у. ед.), CPHLB (+1,80 и 0,80 у. ед.), только по Флавобактерину – MCARI (+3,73 у. ед.).

3. В опытах при обработке семян ярового овса Флавобактерином сопряженность урожайности с индексами CPHLT, CPHLA, CPHLB менялась от средней положительной в 2023 г. ($r=0,332$) до сильной отрицательной в 2024 г. ($r=-0,955$). В опытах при обработке семян ярового ячменя и овса Мизорином отмечена сильная прямая корреляционная связь ($r=0,736-0,932$) урожайности с индексами гиперспектрального имиджинга MRESRI, CPHLT, CPHLA, CPHLB.

Список литературы

1. Жаркова С. В. Реализация биологического потенциала сортов ячменя в предлагаемых условиях возделывания // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2022. № 8–2(71). С. 18–20. DOI: 10.24412/2500-1000-2022-8-2-18-20. EDN: FLXYVQ
2. Якушев В. П. Дистанционные методы и средства в информационном обеспечении точного земледелия: состояние и перспективы // Применение средств дистанционного зондирования земли в сельском хозяйстве: сб. тр. второй всероссийской научной конференции с международным участием. Санкт-Петербург, 26–28 сентября 2018 года. Санкт-Петербург, 2018. С. 3–11. DOI: 10.25695/agrophysica.2018.2.18484. EDN: YOMHJR
3. Кононов А. С. Физиология процесса азотфиксации и фотосинтез в гетерогенном посеве // Бюллетень Брянского отделения Русского ботанического общества. 2013. № 1(1). С. 42–50. EDN: RCDMNR
4. Экстракционно-флуориметрическое определение хлорофилла «а» в природных водах / З. А. Темердашев, Л. Ф. Павленко, Я. С. Ермакова [и др.] // Аналитика и контроль. 2019. Т. 23. № 3. С. 323–333. DOI: 10.15826/analitika.2019.23.3.001. EDN: NURXRI
5. Fluorescence of Chlorophyll a During Seasonal Water Stratification in the Black Sea / N.A. Moiseeva, T.Ya. Churiliva, T.V. Efimova [et al.] // Physical Oceanography. 2019. № 26(5). Pp. 425–437. DOI:10.22449/1573-160X-2019-5-425-437
6. Тютерева Е. В., Дмитриева В. А., Войцеховская О. В. Хлорофилл b как источник сигналов, регулирующих развитие и продуктивность растений // Сельскохозяйственная биология. 2017. Том 52. № 5. С. 843–855. DOI: 10.15389/agrobiol.2017.5.843rus. EDN: ZRXNUL
7. Atsushi Kume, Tomoko Akitsu, Kenlo Nishida Nasahara. Why is chlorophyll b only used in light-harvesting systems? // Journal of Plant Research. Journal of Plant Research. 2018. № 131. Pp. 961–972. DOI: 10.1007/s10265-018-1052-7
8. Ryouichi Tanaka and Ayumi Tanaka. Chlorophyll b is not just an accessory pigment but a regulator of the photosynthetic antenna // Porphyrins. 2000. № 9(1). Pp. 240–245.
9. Использование вегетационных индексов для оценки адаптивности генотипов твердой яровой пшеницы / В. С. Юсов, М. Г. Евдокимов, О. А. Юсова, Д. А. Глушаков // Достижения науки и техники АПК. 2025. Т. 39. № 1. С. 31–38. DOI: 10.53859/02352451_2025_39_1_31. EDN: MLAUHM
10. Ассоциативная азотфиксация в ризосфере зерновых культур при инокуляции стимулирующими рост растений бактериями *Arthrobacter mysorens* 7 и *Flavobacterium* sp. / Н. Н. Шулико, А. А. Киселёва, Е. В. Тукмачева [и др.] // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16. № 6. С. 361–384. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1016. EDN: NILFDX

References

1. Zharkova S.V. Realization of the biological potential of barley varieties under the proposed cultivation conditions. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2022;8–2(71):18–20. (In Russ). DOI:10.24412/2500-1000-2022-8-2-18-20. EDN: FLXYVQ
2. Yakushev V.P. Remote methods and tools in information support for precision farming: status and prospects. *Primenenie sredstv distancionnogo zondirovaniya zemli v sel'skom hozyajstve: sb. tr. vtoroj vserossijskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. Sankt-Peterburg, 26–28 sentyabrya 2018 goda* [Application of remote sensing tools in agriculture: collection of papers of the second all-Russian scientific conference with international participation. Saint Petersburg, September 26–28, 2018]. Saint Petersburg, 2018. Pp. 3–11. (In Russ). DOI: 10.25695/agrophysica.2018.2.18484. EDN: YOMHJR
3. Kononov A.S. Physiology of the process of nitrogen fixation and photosynthesis in heterogeneous sowing. *Bulletin of the Bryansk branch of the Russian Botanical Society*. 2013;(1):42–50. (In Russ). EDN: RCDMNR
4. Temerdashev Z.A., Pavlenko L.F., Ermakova Y.S. [et al.]. Extraction-fluorimetric determination of chlorophyll "a" in the natural waters. *Analytics and control*. 2019;23(3):323–333. (In Russ). DOI: 10.15826/analitika.2019.23.3.001. EDN: NURXRI
5. Moiseeva N.A., Churiliva T.Ya., Efimova T.V. [et al.]. Fluorescence of Chlorophyll a During Seasonal Water Stratification in the Black Sea. *Physical Oceanography*. 2019;26(5):425–437. (In Russ). DOI:10.22449/1573-160X-2019-5-425-437
6. Tyutereva E.V., Dmitrieva V.A., Wojciechowska O.V. Chlorophyll b as a source of signals regulating the development and productivity of plants. *Agricultural Biology* 2017;52(5):843–855. (In Russ). DOI: 10.15389/agrobiology.2017.5.843rus. EDN: ZRXNUL
7. Atsushi Kume, Tomoko Akitsu, Kenlo Nishida Nasahara. Why is chlorophyll b only used in light-harvesting systems? *Journal of Plant Research*. 2018;(131):961–972. DOI: 10.1007/s10265-018-1052-7
8. Ryouichi Tanaka and Ayumi Tanaka. Chlorophyll b is not just an accessory pigment but a regulator of the photosynthetic antenna. *Porphyris*. 2000;9(1):240–245.
9. Yusov V.S., Evdokimov M.G., Yusova O.A., Glushakov D.A. Using vegetation indices to assess the adaptability of hard spring wheat genotypes. *Achievements of science and technology in agribusiness*. 2025;39(1):31–38. (In Russ). DOI: 10.53859/02352451_2025_39_1_31. EDN: MLAUHM
10. Shuliko N.N., Kiseleva A.A., Tukmacheva E.V. [et al.]. Associative Nitrogen Fixation in the Rhizosphere of Cereals During Seed Inoculation by Bacteria *Arthrobacter mysorens* 7 and *Flavobacterium* Sp. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024;16(6):361–384. (In Russ). DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1016. EDN: NILFDX

Сведения об авторах

Юсова Оксана Александровна – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией биохимии и физиологии растений, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Омский аграрный научный центр», SPIN-код: 7096-6529, Scopus ID: 57216487997

Шулико Наталья Николаевна – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией микробиологии, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Омский аграрный научный центр», SPIN-код: 7601-1991, Scopus ID: 57969035400, Researcher ID: ABF-6522-2021

Николаев Петр Николаевич – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией селекции зернофуражных культур, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Омский аграрный научный центр», SPIN-код: 5611-8777, Scopus ID: 57216491268

Information about the authors

Oksana A. Yusova – Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Head of the Laboratory of Biochemistry and Plant Physiology, Omsk Agrarian Scientific Center, SPIN-code: 7096-6529, Scopus ID: 57216487997

Natalia N. Shuliko – Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Head of the Microbiology Laboratory, Omsk Agrarian Sciencefic Center, SPIN-code: 7601-1991, Scopus ID: 57969035400, Researcher ID: ABF-6522-2021

Peter N. Nikolaev – Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Head of the Laboratory for Selection of Grain Crops Omsk Agrarian Research Center, SPIN-code: 5611-8777, Scopus ID: 57216491268

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

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

*Статья поступила в редакцию 06.04.2026;
одобрена после рецензирования 27.04.2026;
принята к публикации 04.05.2026.*

*The article was submitted 06.04.2026;
approved after reviewing 27.04.2026;
accepted for publication 04.05.2026.*