

виях республики Тыва / Л. Т. Монгуш. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2018. – № 7. – С. 31-35.

9. Селекция эспарцета (*Onobrychis Mill.*) для кормопроизводства Сибири / Н. И. Кашеваров, Р. И. Полюдина, О. А. Рожанская, А. В. Железнов. – Текст: непосредственный // Кормопроизводство. – 2013. – № 9. – С. 22-24.

10. Использование эспарцета в качестве парозанимающей культуры в крайне засушливой зоне Ставропольского края / В. К. Дригидер, М. К. Жукова, А. А. Федотов, А. И. Штельмах. – Текст: непосредственный // Достижение науки и техники АПК. – 2014. – № 6. – С. 45-47.

References

1. Dzanagov, S.Kh. Vliyanie biostimulyatorov na urozhaynost i kachestvo netraditsionnykh kormovykh kultur v usloviyakh RSO-Alaniya / S.Kh. Dzanagov, T.B. Khadikova, Z.A. Gutieva // Izvestiya Gorskogo GAU. 2012. T. 49, ch. 1-2. S. 34-41.

2. Pankov, D.M. Fenologicheskie osobennosti espartseta i donnika v zavisimosti ot usloviy vyrashchivaniya // Vestnik Bashkirskogo GAU. 2013. No. 3. S. 26.

3. Bekuzarova S., A., et al. (2020). Features of perennial forage agriculture in the North Caucasian foothills. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 421 062040. DOI: 10.1088/1755-1315/421/6/062040.

4. Voloshin, V.A. Osobennosti razvitiya selektsionnykh i dikorastushchikh form espartseta

peschanogo v pervyy god zhizni v Permskom krae // Permskiy agrarnyy vestnik. 2017. No. 4. S. 58-62.

5. Gamidov, I.R. Agrobiologicheskaya otsenka perspektivnykh sortoobraztsov espartseta peschanogo (*Onobrychis arenaria*) dlya vozdeleyvaniya v aridnykh usloviyakh respublik Dagestan / I.R. Gamidov, K.M. Ibragimov, M.A. Umakhanov // Kormoproizvodstvo. 2018. No. 4. S. 32-36.

6. Dzyubenko, N.I. Adaptatsiya amerikanskikh ekotipov *Onobrychis arenaria* (Kit) Ser. v usloviyakh Novgorodskoy oblasti / N.I. Dzyubenko, Ya.M. Abdushaeva // Selskokhozyaystvennaya biologiya. 2012. No. 4. S. 106-112.

7. Dzanagov, S.Kh. Vliyanie udobreniy i biostimulyatorov na produktivnost kormovykh kultur v Severnoy Osetii-Alanii / S.Kh. Dzanagov, T.G. Nogayti, D.A. Cherdzhiev // Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2016. T. 53, No. 4. S. 28-38.

8. Mongush, L.T. Vozdeleyvanie espartseta peschanogo (*Onobrychis arenaria*) na korm v usloviyakh Respubliki Tyva // Vestnik Altayskogo gosudarstvenno agrarnogo universiteta. 2018. No. 7. S. 31-35.

9. Seleksiya espartseta (*Onobrychis Mill.*) dlya kormoproizvodstva Sibiri / N.I. Kашеваров, R.I. Polyudina, O.A. Rozhanskaya, A.V. Zheleznov // Kormoproizvodstvo. 2013. No. 9. S. 22-24.

10. Ispolzovanie espartseta v kachestve parozanimayushchey kultury v krayne zasushlivoy zone Stavropolskogo kraya / V.K. Dridiger, M.K. Zhukova, A.A. Fedotov, A.I. Shtelmakh // Dostizhenie nauki i tekhniki APK. 2014. No. 6. S. 45-47.



УДК 635.65;528.854;631.527
DOI: 10.53083/1996-4277-2026-260-6-17-22

Е.В. Кожухова, И.Ю. Ботвич
E.V. Kozhukhova, I.Yu. Botvich

ДИНАМИКА КОРРЕЛЯЦИИ СПЕКТРАЛЬНЫХ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ С СЕЛЕКЦИОННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ *PISUM SATIVUM*

DYNAMICS OF CORRELATION OF SPECTRAL VEGETATION INDICES WITH BREEDING PARAMETERS OF *PISUM SATIVUM*

Ключевые слова: спектральные вегетационные индексы, горох (*Pisum sativum*), корреляция, устойчивость к полеганию, морфотип, урожайность, длина, беспилотная съемка, фенологические фазы.

Keywords: spectral vegetation indices, peas (*Pisum sativum*), correlation, lodging resistance, morphotype, yield, length, unmanned aerial photography, phenological phases.

Выявлены характер и значимость корреляционной связи, рассчитанных на основании мультиспектральной съемки с БПЛА вегетационных индексов (NDVI, MSAVI2, ClGreen, NDRE, NGRDI, NDYI) с селекционно-значимыми параметрами гороха: урожайность, морфотип, длина растений, устойчивость к полеганию. Установлены наиболее приемлемые для проведения мультиспектральной съемки периоды развития растений *Pisum sativum* L. Исследования проводились в лесостепи Красноярского края, в питомнике конкурсного сортоиспытания гороха ФИЦ КНЦ СО РАН в 2022-2023 гг. Условия 2023 г. являлись более засушливыми (ГТК (гидротермический коэффициент) = 0,82) по сравнению с 2022 г. (ГТК 2022 г. = 1,04). Почва участка – чернозем обыкновенный с нейтральной кислотностью. Объекты исследования деланки гороха в питомнике конкурсного испытания: в 2022 г. – 176 деланок (44 образца в 4-кратной повторности); в 2023 г. – 128 деланок (32 образца в 4-кратной повторности). Выявлено, что учет спектральных индексов рекомендуется проводить ориентировочно в период цветения культуры, когда показатели и корреляционные связи с основными селекционными параметрами максимальны – в июне-июле. В этот период максимальная степень корреляции между основными спектральными коэффициентами. С урожайностью зависимость определялась как средняя положительная с пограничными показателями от 0,324 (NDYI) по 0,396 NDRE. Рекомендованные сроки проведения съемки июнь-июль. С морфотипом растений определена преимущественно сильная положительная зависимость с наиболее значимым средним значением индекса $r = 0,745$ (ClGreen). С устойчивостью к полеганию определена средняя отрицательная корреляция, с наиболее значимым средним коэффициентом $r = -0,567$ – индекс MSAVI2, рекомендованные сроки съемки для прогноза устойчивости к полеганию – июль. С длиной растений корреляция не превышала средней положительной зависимости, максимальное ее значение определено с индексом NDYI ($r=0,596$), рекомендуемый срок съемки – июль.

Кожухова Елена Викторовна, к.с.-х.н., вед. науч. сотр., КрасНИИСХ – ОП ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск, Российская Федерация, e-mail: elena.kojuhova@yandex.ru.

Ботвич Ирина Юрьевна, мл. науч. сотр., ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск, Российская Федерация, e-mail: irina.pugacheva@mail.ru.

The nature and significance of the correlation between the vegetation indices calculated on the basis of multispectral UAV imagery (NDVI, MSAVI2, ClGreen, NDRE, NGRDI, NDYI) and the breeding-significant parameters of peas: yield, morphotype, plant length, lodging resistance, and the periods of development of *Pisum sativum* L plants most acceptable for multispectral imagery were identified. The studies were conducted in the forest-steppe of the Krasnoyarsk Region, in the nursery of the competitive variety testing of peas at the Federal Research Center “Krasnoyarsk Science Center” of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, in 2022 and 2023. The conditions in 2023 were more arid (HTC (hydrothermal coefficient) = 0.82) compared to 2022 (HTC 2022 = 1.04). The soil of the site was ordinary chernozem with neutral acidity. The research targets were pea plots in the nursery of the competitive trial: in 2022, there were 176 plots (44 accessions in 4-fold repetition); in 2023, there were 128 plots (32 accessions in 4-fold repetition). It was found that the spectral indices should be studied approximately during the flowering period of the crop when the indices and correlations with the main breeding parameters were at maximum - in June and July. During that period, the maximum degree of correlation between the main spectral coefficients was reached. The dependence on yield was defined as an average positive, with boundary values from 0.324 (NDYI) to 0.396 NDRE. The recommended shooting dates were June and July. A predominantly strong positive relationship was determined with the plant morphotype, with the most significant average index value of $r = 0.745$ (ClGreen). The average negative correlation was determined with the lodging resistance, with the most significant average coefficient of $r = -0.567$ - the MSAVI2 index, the recommended dates for the prediction of lodging resistance - July. The correlation with plant length did not exceed the average positive dependence, and its maximum value was determined with the NDYI index ($r = 0.596$). The recommended shooting period was July.

Kozhukhova Elena Viktorovna, Cand. Agr. Sci., Leading Researcher, Federal Research Center “Krasnoyarsk Science Center” of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russian Federation, e-mail: elena.kojuhova@yandex.ru.

Botvich Irina Yurevna, Junior Researcher, Federal Research Center “Krasnoyarsk Science Center” of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russian Federation, e-mail: irina.pugacheva@mail.ru.

Введение

Отслеживание состояния экосистем с помощью наземного и космического мониторинга

входит в сельскохозяйственную практику [1, 2]. Применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) представляется возможным для мо-

нитинга состояния посевами сельскохозяйственных культур [3].

В период внедрения и развития эффективных цифровых технологий набирает актуальность возможность определения на селекционных и семеноводческих посевах таких параметров, как сортовые особенности и прогнозирование урожайности. Для культуры *Pisum sativum* имеет большую актуальность проблема полегаемости посева [4]. Развитие растений и рост их биомассы у разных морфотипов гороха имеют различия [5].

Цифровой мониторинг показателей агроэкосистем проводится на основе аэрофотосъемки на мультиспектральную камеру и дальнейшей оценки вариабельности посевов по вегетационным индексам [6]. В настоящее время находят широкое применение различные вегетационные индексы отражения. Значение этих индексов определяется содержанием хлорофилла и уровнем влагообеспеченности [7].

Оптимальные периоды роста и развития растений для определения коэффициентов вегетационных индексов на посевах культуры гороха *Pisum sativum* и их связь с морфотипом растений, урожайностью и устойчивостью к полегаемости еще недостаточно изучены, чем вызвана актуальность проводимых исследований.

Целью исследования являлось выявление характера и значимости корреляционной связи вегетационных индексов (NDVI, MSAVI2, CIGreen, NDRE, NGRDI, NDYI) со следующими селекционно-значимыми параметрами гороха: урожайность, морфотип, длина растений, устойчивость к полегаемости, а также установление максимально информативных периодов роста и развития растений *Pisum sativum* L. для проведения съемки.

Условия, материалы и методы

Исследования проводились в лесостепной зоне Красноярской лесостепи – на полях ФИЦ КНЦ СО РАН, в питомнике конкурсного сортоиспытания гороха в 2022 и 2023 гг. Объекты исследования – селекционные образцы гороха. В 2022 г. учеты проводились по 176 делянкам – 44 образца гороха посевного; 2023 г. анализировались 128 делянок – 32 образца гороха посевного. Образцы располагались в 4-кратной повторности. Условия 2023 г. являлись наиболее засушливыми (ГТК=0,82) по сравнению с предыдущим 2022 г. (ГТК = 1,04).

Беспилотная съемка проводилась в течение всего периода вегетации с помощью Геоскан-201 мультиспектральной камерой MicaSense RedEdge-MX с временным разрешением 7 дней и пространственным разрешением 26 см.

На основании полученных данных были рассчитаны значения вегетационных индексов: NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), MSAVI2 (Modified Soil Adjusted Vegetation Index), CIGreen (Green chlorophyll index), NDRE (Normalized difference red-edge), NGRDI (Normalized Green-Red Difference Index), NDYI (Normalized Difference Yellowness Index) [8-10].

На посевах проводили учет урожайности (т/га). Устойчивость к полегаемости определяли по 5-балльной шкале [11]. Учитывали морфотип растений (афильный, листочковый, гетерофильный). Для расчета корреляционных индексов морфотип растений переводился в числовой эквивалент, афильным сортам присваивали индекс 1, гетерофильным – 2, листочковым – 3. Определяли длину растений перед уборкой. Линейная корреляция вегетационных индексов с селекционными параметрами рассчитывалась в программе Excel. Интерпретация коэффициента корреляции и расчет ошибки проводились по методике Доспехова [12].

Результаты и обсуждения

Значения вегетационных индексов на протяжении периода роста и развития растений принимали значения: NDVI – от 0,206 до 0,744; MSAVI2 – от 0,102 до 0,406; CIGreen – от 0,786 до 2,840; NDRE – от 0,121 до 0,409; NGRDI – от -0,098 до 0,360; NDYI – от 0,049 до 0,360.

Максимальная корреляция (r) вегетационных индексов с морфотипами обнаружена в период цветения – начала плодообразования культуры. К периоду созревания наблюдалась тенденция к резкому снижению сопряженности. Ошибка (S_r) во всех расчетах находилась в пределах от 0,01 до 0,02.

Максимальную сопряженность с морфотипом растений демонстрировал индекс CIGreen в 2022 г. 29 июня (период начало цветения – полное цветение) $r = 0,892$, в 2023 г. максимум пришелся на 20 июля (конец цветения) $r = 0,820$.

С устойчивостью к полегаемости у спектральных вегетационных индексов выявлена обратная зависимость, преимущественно средней величины, достигающая наибольшей сопряженности в периоды максимального развития растений,

т.е. при максимальном показателе фотосинтетической активности.

С урожайностью максимальные значения r принимали ориентировочно в период с середины июня по середину июля, приходящийся на период начала, полного цветения и окончание цветения культуры. Ближе к созреванию культуры направленность корреляции менялась и становилась отрицательной. Однако даже при максимальной сопряженности индексов с урожай-

ностью культуры в 2022 и в 2023 гг. их интерпретация не превышала средней зависимости.

По длине растений наиболее значительная корреляционная зависимость прослеживалась в период максимального развития растений и снижалась к периоду созревания культуры.

Для определения средних зависимостей за два года были использованы наиболее значимые коэффициенты корреляции в 2022 и 2023 г. с указанием дат проведения съемки.

Таблица

Даты съемки с максимальной сопряженностью спектральных индексов с селекционно-важными параметрами культуры (2022-2023 гг.)

Индекс	2022 г.		2023 г.		Среднее r
	дата съемки	r	дата съемки	r	
Урожайность					
NDVI	20.06	0,352	22.06	0,350	0,351
MSAVI2	20.06	0,366	22.06	0,421	0,394
NDYI	20.06	0,261	22.06	0,387	0,324
Cigreen	29.06	0,451	22.06	0,252	0,352
NGRDI	28.07	0,312	22.06	0,355	0,334
NDRE	29.06	0,529	16.06	0,263	0,396
Морфотип					
NDVI	29.06	0,818	27.07	0,684	0,751
MSAVI2	11.07	0,787	27.07	0,666	0,727
NDYI	05.07	0,777	27.07	0,698	0,738
Cigreen	29.06	0,892	20.07	0,820	0,856
NGRDI	11.07	0,770	27.07	0,699	0,735
NDRE	05.07	0,794	20.07	0,732	0,763
Устойчивость к полеганию					
NDVI	05.07	-0,498	27.07	-0,558	-0,528
MSAVI2	11.07	-0,530	27.07	-0,603	-0,567
NDYI	05.07	-0,511	27.07	-0,570	-0,541
Cigreen	05.07	-0,454	20.07	-0,635	-0,545
NGRDI	05.07	-0,521	27.07	-0,589	-0,555
NDRE	05.07	-0,391	20.07	-0,584	-0,488
Длина растений к уборке					
NDVI	05.07	0,557	20.07	0,440	0,499
MSAVI2	11.07	0,648	27.07	0,475	0,562
NDYI	05.07	0,635	08.06	0,596	0,616
Cigreen	05.07	0,478	20.07	0,343	0,411
NGRDI	05.07	0,623	20.07	0,505	0,564
NDRE	05.07	0,347	20.07	0,255	0,301

По урожайности сильной зависимости со спектральными индексами не прослеживалось, средняя корреляция в июне объяснялась состоянием и общей оценкой интенсивности развития

растений, отраженной в спектральных индексах, что в конечном итоге сказывается на урожайности. За период 2022-2023 гг. выявлена средняя сопряженность с урожайностью по всем индек-

сам с пограничными показателями от 0,324 (NDYI) по 0,396 (NDRE). Рекомендованные сроки проведения съемки для определения урожайности – июнь-июль.

С морфотипом растений, являющимся важным отличительным сортовым признаком гороха, по большинству спектральных индексов прослеживалась сильная зависимость, максимальная выявлена с индексом CIGreen ($r = 0,745$). Рекомендованные сроки съемки и расчета спектральных индексов для определения морфотипа растений – конец июня, июль.

С устойчивостью к полеганию растений сопряженность по всем исследуемым индексам была средней отрицательной. Наиболее значимое значение продемонстрировал индекс MSAVI2 ($r = -0,567$). Рекомендованный срок съемки для прогноза устойчивости к полеганию – июль.

С длиной растений корреляция не превышала средней положительной зависимости, максимальное ее значение определено с индексом NDYI ($r = 0,596$). Рекомендуемый период съемки – июль (табл.).

Заключение

Учет спектральных вегетационных индексов рекомендуется проводить ориентировочно в период цветения культуры, когда их показатели и корреляционные связи с основными селекционными параметрами максимальны – июнь, июль. К созреванию культуры корреляция уменьшается и может принимать отрицательные значения.

Наиболее значимая корреляция вегетационных индексов выявлена с морфотипом растений гороха. Максимальная прямая сильная зависимость морфотипа определена с индексом CIGreen ($r = 0,745$). Рекомендованный срок съемки – конец июня, июль.

С устойчивостью к полеганию растений сопряженность по всем исследуемым индексам была средней, отрицательной, с наиболее значимым средним коэффициентом $r = -0,567$ – индекс MSAVI2. Рекомендованные сроки съемки для прогноза устойчивости к полеганию – июль.

С урожайностью зависимость определялась как средняя положительная с пограничными показателями от 0,324 (NDYI) по 0,396 (NDRE). Рекомендованные сроки проведения съемки для определения урожайности – июнь-июль. Максимально коррелирующие с урожайностью индексы: NDVI (в 2022 г. – $r_{\max} = 0,352$, в 2023 г. – r_{\max}

$= 0,350$) и MSAVI2 (в 2022 г. – $r_{\max} = 0,366$, в 2023 г. – $r_{\max} = 0,421$).

С длиной растений корреляция не превышала средней положительной зависимости, максимальное ее значение определено с индексом NDYI ($r=0,596$), рекомендуемый период съемки – июль.

Библиографический список

1. West, E., Morley, P. J., Jump, A. S., Donoghue, D. N. M. (2022). Satellite data track spatial and temporal declines in European beech forest canopy characteristics associated with intense drought events in the Rhön Biosphere Reserve, central Germany. *Plant Biology (Stuttgart, Germany)*, 24(7), 1120–1131. <https://doi.org/10.1111/plb.13391>.

2. Дьяченко, А. В. Применение беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве как способ повышения урожайности и обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации / А. В. Дьяченко, М. В. Леденева, М. В. Чуб. – DOI 10.25683/VOLBI.2025.72.1380. – Текст: непосредственный // Бизнес. Образование. Право. – 2025. – № 3 (72). – С. 25-31. – EDN QSHZSN.

3. Cuaran J., Leon J. (2021). Crop Monitoring using Unmanned Aerial Vehicles: A Review. *Agricultural Reviews*. 42(2). 121-132. <https://doi.org/10.18805/AG.R-180>.

4. Smithger J. A., Weeden N., Akin I., Warkentin T. (2020) Stress equation for a cantilever beam: a model of lodging resistance in field pea. *International Agrophysics*. 34 (2). 213-222. DOI 10.31545/INTAGR/118318.

5. Кожухова, Е. В. Динамика накопления вегетативной массы разными морфотипами *Pisum sativum* в Приенисейской Сибири / Е. В. Кожухова, В. В. Новиков. – DOI 10.53083/1996-4277-2025-244-2-11-16. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2025. – № 2 (244). – С. 11-16. – EDN DHEVKM.

6. Цифровой мониторинг показателей агрофитоценозов на основе беспилотных технологий / О. А. Оленин, С. Н. Зудилин, С. Н. Шевченко [и др.]. – DOI 10.25680/S19948603.2019.110.16. – Текст: непосредственный // Плодородие. – 2019. – № 5 (110). – С. 56-59. – EDN BIBVCB.

7. Использование вегетационных индексов в селекции пшеницы и проса / С. Д. Вилюнов, В. С. Сидоренко, Н. А. Степанова, М. А. Шапо-

рова. – DOI 10.26897/0021-342X-2023-5-18-34 – Текст: непосредственный // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2023. – № 5. – С. 18-34. – EDN BMJZDS.

8. Gitelson, A.A., Vina, A., Ciganda, V., et al. (2005). Remote estimation of canopy chlorophyll content in crops. *Geophysical Research Letters*. (32). 08403. DOI 10.1029/2005GL022688.

9. Оценка пространственного распределения урожайности ярового ячменя (Красноярский край) по наземным и спутниковым спектрофотометрическим данным / И. Ю. Ботвич, Д. В. Емельяно, А. А. Ларько [и др.]. – DOI 10.21046/2070-7401-2019-16-5-183-193 – Текст: непосредственный. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2019. – Т. 16, № 5. – С. 183-193. – EDN YABFWG.

10. Torres-Sánchez J., López-Granados F., De Castro A.I., Peña-Barragán J.M. (2013). Configuration and specifications of an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for early site specific weed management. *PLoS One*. 8 (3): e58210. DOI: 10.1371/journal.pone.0058210.

11. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1. Общая часть. – Москва: Госкомиссия по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур, 2019. – 329 с. – Текст: непосредственный.

12. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – Москва: Агропромиздат, 1985. – 351 с. – Текст: непосредственный.

References

1. West, E., Morley, P. J., Jump, A. S., Donoghue, D. N. M. (2022). Satellite data track spatial and temporal declines in European beech forest canopy characteristics associated with intense drought events in the Rhön Biosphere Reserve, central Germany. *Plant Biology (Stuttgart, Germany)*, 24(7), 1120–1131. <https://doi.org/10.1111/plb.13391>.

2. Dyachenko, A. V. Primenenie bespilotnykh letatelnykh apparatov v selskom khozyaystve kak sposob povysheniya urozhaynosti i obespecheniya prodovolstvennoy bezopasnosti Rossiyskoy Federatsii / A. V. Dyachenko, M. V. Ledeneva, M. V. Chub. – DOI: 10.25683/VOLBI.2025.72.1380 // Бизнес. Образование. Право. – 2025. – No. 3 (72). – С. 25-31.

3. Cuaran J., Leon J. (2021). Crop Monitoring using Unmanned Aerial Vehicles: A Review. *Agric-*

cultural Reviews. 42(2). 121-132. <https://doi.org/10.18805/AG.R-180>.

4. Smitchger J. A., Weeden N., Akin I., Warkentin T. (2020) Stress equation for a cantilever beam: a model of lodging resistance in field pea. *International Agrophysics*. 34 (2). 213-222. DOI 10.31545/INTAGR/118318.

5. Kozhukhova, E. V. Dinamika nakopleniya vegetativnoy massy raznymi morfotipami Pisum sativum v Prieniseyskoy Sibiri / E. V. Kozhukhova, V. V. Novikov. – DOI 10.53083/1996-4277-2025-244-2-11-16 // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2025. – No. 2 (244). – С. 11-16.

6. Olenin O. A. Tsifrovoy monitoring pokazateley agrofytotsenozov na osnove bespilotnykh tekhnologiy / O. A. Olenin, S. N. Zudilin, S. N. Shevchenko, Yu.V. Osorgin, A.S. Chernov. - DOI 10.25680/S19948603.2019.110.16 // Plodородie. – 2019. – No. 5 (110). – С. 56-59.

7. Vilyunov S.D., Ispolzovanie vegetatsionnykh indeksov v selektsii pshenitsy i prosa / S. D. Vilyunov, V. S. Sidorenko, N. A. Stepanova, M. A. Shaporova. – DOI 10.26897/0021-342X-2023-5-18-34 // Izvestiya Timiryazevskoy selskokhozyaystvennoy akademii. – 2023. – No. 5. – С. 18-34.

8. Gitelson, A.A., Vina, A., Ciganda, V., et al. (2005). Remote estimation of canopy chlorophyll content in crops. *Geophysical Research Letters*. (32). 08403. DOI 10.1029/2005GL022688.

9. Botvich I. Yu. Otsenka prostranstvennogo raspredeleniya urozhaynosti yarovogo yachmenya (Krasnoyarskiy kray) po nazemnym i sputnikovym spektrofotometricheskim dannym / I. Yu. Botvich, D. V. Emelyanov, A. A. Larko [i dr.] // Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. – 2019. – Т. 16, No. 5. – С. 183-193. – DOI 10.21046/2070-7401-2019-16-5-183-193.

10. Torres-Sánchez J., López-Granados F., De Castro A.I., Peña-Barragán J.M. (2013). Configuration and specifications of an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for early site specific weed management. *PLoS One*. 8 (3): e58210. DOI: 10.1371/journal.pone.0058210.

11. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya selskokhozyaystvennykh kultur. Vyp. 1. Obshch. chast. – Moskva: Goskomissiya po sortoispytaniyu s.-kh. kultur, 2019. – 329 s.

12. Dospekhov, B.A. Metodika polevogo opyta, Moskva: Agropromizdat, 1985. 351 s.

