

## ОЦЕНКА ПЕРЕЗИМОВКИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ РАЗЛИЧНЫМИ ВЕГЕТАЦИОННЫМИ ИНДЕКСАМИ

**С.Д. ВИЛЮНОВ**, старший научный сотрудник, ORCID ID: 0000-0002-7373-5951

**В.С. СИДОРЕНКО**, кандидат с.-х. наук, ORCID ID: 0000-0002-9921-6105

**М.А. ШАПОРОВА**, младший научный сотрудник, ORCID ID: 0009-0004-9928-2868

**Е.В. МИТЮХИНА**, младший научный сотрудник, ORCID ID: 0009-0006-9658-9340

**Л.И. ГЛАЗКОВА**, младший научный сотрудник, ORCID ID: 0009-0000-1241-3302

ФГБНУ ФНЦ ЗЕРНОБОБОВЫХ И КРУПЯНЫХ КУЛЬТУР

***Аннотация.** В данной статье изучена объективность метода оценки перезимовки озимой пшеницы различными вегетационными индексами на малых площадях. Данный метод сопоставим с традиционным бальным методом визуальной оценки специалистом по методике Государственной комиссии Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений. В рамках трехлетних исследований (более 100 делянок в год) были созданы ортофотопланы поверхности поля (делянок), проанализированы мультиспектральные данные, построены вегетационные карты трех вегетационных индексов (NDVI, NDRE, ClGreen). По трехлетним данным корреляционных связей индексов отражения – осенних (перед уходом в зиму) и весенних (с возобновлением весенней вегетации) с традиционной бальной оценкой специалистом – сделан вывод о целесообразности применения в селекционном процессе объективной оценки качества перезимовки сортообразцов с помощью NDVI на фоне других сортолиний (корреляционная зависимость на уровне (0,68...0,85). Такое использование показаний вегетационных индексов отражения позволит проводить объективный статистический анализ и получать достоверные статистические результаты по перезимовке селекционных образцов.*

***Ключевые слова:** перезимовка, озимая пшеница, вегетационные индексы, дисперсионный анализ.*

***Для цитирования:** Вилюн С.Д., Сидоренко В.С., Шапорова М.А., Митюхина Е.В., Глазкова Л.И. Оценка перезимовки озимой пшеницы различными вегетационными индексами. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2024; 3 (51):100-105. DOI: 10.24412/2309-348X-2024-3-100-105*

## ASSESSMENT OF WINTER WHEAT OVERWINTERING BY DIFFERENT VEGETATION INDICES

**S.D. Vilyunov, V.S. Sidorenko, M.A. Shaporova, E.V. Mityukhina, L.I. Glazkova**

FSBSI FEDERAL SCIENTIFIC CENTER OF LEGUMES AND GROAT CROPS

***Abstract.** This article studies the objectivity of the method of winter wheat overwintering assessment by different vegetation indices on small areas. This method is comparable to the traditional ball method of visual evaluation by a specialist according to the methodology of the State Commission of the Russian Federation for Testing and Protection of Breeding Achievements. Within the framework of three-year studies (more than 100 plots per year) orthophotomaps of the field surface (plots) were created, multispectral data were analyzed, and vegetation maps of three vegetation indices (NDVI, NDRE, ClGreen) were constructed. According to three-year data of correlations of reflectance indices - autumn (before going into winter) and spring (with the resumption of spring vegetation) with the traditional ball evaluation by a specialist - a conclusion*

*was made about the expediency of using in the breeding process an objective assessment of the quality of overwintering of varieties using NDVI against the background of other varietal lines (correlation dependence at the level of (0.68...0.85). Such use of readings of vegetative reflection indices will allow conducting objective statistical analysis and obtaining reliable statistical results on overwintering of breeding samples.*

**Keywords:** overwintering, winter wheat, vegetation indices, dispersion analysis.

**Введение.** Озимая пшеница является основной сельскохозяйственной культурой, обеспечивающей продовольственную безопасность страны, и быстрое определение состояния ее посевов является одним из важных этапов в ее выращивании и селекции.

К основным условиям напрямую влияющих на сохранность и здоровье весенних растений озимой пшеницы, относят (по Пономареву В.И., 1975): температуру, влажность почвы и воздуха, снежный покров и его состояние. Сочетания этих факторов формируют условия перезимовки, где к повреждающим пшеницу показателям в первую очередь относятся низкие температуры, вызывающие вымерзание растений, резкие колебания температур с глубокими оттепелями, приводящими к образованию притертой ледяной корки. Длительное пребывание озимой пшеницы под глубоким снежным покровом вызывает развитие грибных болезней, что становится причиной выпревания. Все это сказывается на количестве выживших к весне растений и их общее развитие [1]. Для фиксирования весеннего состояния посевов в производстве классическим методом бальной оценки – привлекается специалист. В селекционном процессе анализ, оценка и браковка разнообразного посевного материала по определению зимостойкости непосредственно осуществляется визуальным селекционером. Естественно такой подход является субъективным и трудозатратным.

Ключевым элементом агроэкологической оптимизации современных технологий выращивания зерновых культур являются полевые методы агроэкологического мониторинга, в которые все более активно внедряются цифровые технологии оперативной обработки данных о состоянии посевов, получаемых с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Использование БПЛА в сельском хозяйстве может значительно упростить мониторинг за состоянием посевов, снизить производственные затраты и прогнозировать урожайность сельскохозяйственных культур [2]. Современные технологии дистанционного наблюдения посевов озимой пшеницы позволяют дать объективную цифровую оценку селекционному материалу и определить ценность исследуемых образцов по показателям вегетационных индексов [3]. Это позволяет снизить влияние субъективности при отборе и расширить объем исследуемых вариантов в опыте, снизить трудозатраты, а в сочетании с другими признаками – более детально характеризовать селекционные линии для дальнейшей работы [4].

**Цель исследований** – провести сравнительный анализ оценки перезимовки озимой пшеницы при помощи различных вегетационных индексов.

#### **Материал и методика**

Экспериментальные посевы озимой пшеницы были размещены на полях севооборота селекционного центра ФНЦ ЗБК. Предшественник – чистый пар. Почвы – темно-серые лесные, среднесуглинистые, средне окультуренные. Микрорельеф участка выровненный. По основным физико-химическим показателям данные почвы являются типичными для данной природно-экономической зоны. Пахотный и метровый слои почвы характеризуются высокой водоудерживающей способностью (118 и 345 мм, соответственно). Возможные запасы доступной растениям влаги в слое 0...30 см – 88 мм, а в метровом – 262 мм. Максимальная гигроскопическая влажность: 6,8 – 7,5% от массы почвы, влажность устойчивого увядания: 9,6 – 13,3%.

В конкурсном сортоиспытании общая площадь каждой делянки составляла 8,25 м<sup>2</sup> (ширина 1,65 м x длина 5,0 м). Учетная площадь делянки – 7,5 м<sup>2</sup>. Количество рядков на делянке – 10 шт., ширина междурядий – 15 см, повторность 3-5-кратная. Посев проводился

селекционной сеялкой СКС-6-10 (порционный и кассетный варианты). Норма высева – 5 млн. всхожих зерен на гектар. Исследования проводили на сортообразцах отечественной селекции и селекционных линиях ФНЦ ЗБК (табл. 3).

Фактически метеоусловия в период получения данных были контрастными (различными). Погодные условия вегетационного периода 2021 г. были засушливыми (ГТК=0,83), повышенные температуры в июне-июле существенно повлияли на формирование урожая отдельных сортообразцов. Метеоусловия вегетационного периода летом 2022 г. были благоприятными для развития и слабо засушливыми (ГТК=1,01), однако осенний период отличался низкими температурами. Погодные условия вегетационного периода 2023 г. были засушливыми (ГТК=0,74, в сентябре выпало 0 мм осадков, отмечались лишь следы), но обильные осадки в предшествующий осенне-зимний период способствовали накоплению максимального запаса влаги в почве (табл. 1).

Таблица 1

**Среднемесячные температура воздуха и осадки по месяцам (число дней с осадками) за вегетационные периоды 2021...2023 гг.**

Год	Показатель	Значения показателей по месяцам						
		Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сент.	Апр. - Сент.
2021	Температура, °С	6,9	13,9	19,8	22,3	20,5	10,4	<b>15,6</b>
	Осадки, мм (кол.дн.)	46(17)	74(20)	41(14)	51(9)	51(14)	131(16)	<b>394 / 657*</b>
2022	Температура, °С	6,4	11,5	19,0	19,1	21,8	9,9	<b>14,6</b>
	Осадки, мм (кол.дн.)	174(24)	52(16)	52(12)	64(15)	34(13)	111(21)	<b>487 / 874*</b>
2023	Температура, °С	10,3	12,9	17,1	19,2	20,3	15,3	<b>15,9</b>
	Осадки, мм (кол.дн.)	27(10)	17(8)	56(11)	77(18)	45(13)	0(3 <sup>***</sup> )	<b>222 / 460**</b>

Примечание: \*) сумма выпавших осадков январь-декабрь. \*\*) Сумма выпавших осадков за январь-октябрь. \*\*\*) следы осадков

Для получения высокоточных данных вегетационных индексов в рамках научного сотрудничества привлекались сотрудники Федерального научного агроинженерного центра ВИМ. Ими использовался квадрокоптер DJI Matrice 200 v2 с установленной ГНСС L1/L2 антенной, оснащенный модифицированной камерой DJI X4S 20Mp (5472 x 3648) с трехосевым стабилизатором. Полеты осуществлялись с помощью мобильного приложения DJI Pilot. При помощи специального подвеса устанавливалась мультиспектральная камера MicaSense Altum с сенсором освещенности, имеющий встроенный GPS приемник. Использовался мультичастотный GNSS приемник EMLID Reach RS2. Подключение происходило к базовой станции «OREL» в Орловской области, расположенной на расстоянии менее 20 км [4].

Состояние озимых весной после перезимовки оценивали по методике Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (1989 г.) в пятибалльной системе: 5 баллов – изреживание незаметно; 4 балла – сохранилось не менее 70...80% растений; 3 балла – сохранилось около 50% растений; 2 балла – сохранилось менее 50% растений; 1 балл – сохранилось 15-20% растений. Сплошную гибель растений оценивают баллом 0.

**Результаты и обсуждения**

Для проверки объективности оценки различными вегетационными индексами перезимовки озимых культур и выявления зимостойких сортообразцов в конкурсном испытании озимой пшеницы (посев – 12.10.2022 г.) осенью и весной были продолжены работы по оценке метода контроля перезимовки озимых культур, на малых площадях (7,5 кв.м. площадь делянки). Особенностью состояния посевов было то, что посевы кустились весной (15.03.2023 г. – сход снега, 24.03.2023 г. – возобновление весенней вегетации). Были проведены осенние (8 ноября 2022 г.) и весенние (18 апреля 2023 г.) съемки мультиспектральной камерой в синем (Blue), зеленом (Green), красном (Red), ближнем

красном (RedEdge) и инфракрасном диапазоне (NIR). В эксперименте участвовало 130 делянок озимой пшеницы, из них 5 делянок одного сорта озимой твердой, остальные озимые мягкие (39 сортообразцов и селекционных линий, рис. 1). Ранее в эксперименте участвовал только вегетационный индекс NDVI, в этом году анализ был расширен дополнительными вегетационными индексами. Оценка весеннего состояния посевов традиционной визуальной балльной оценкой специалистами была проведена 19 апреля 2023 года [4].

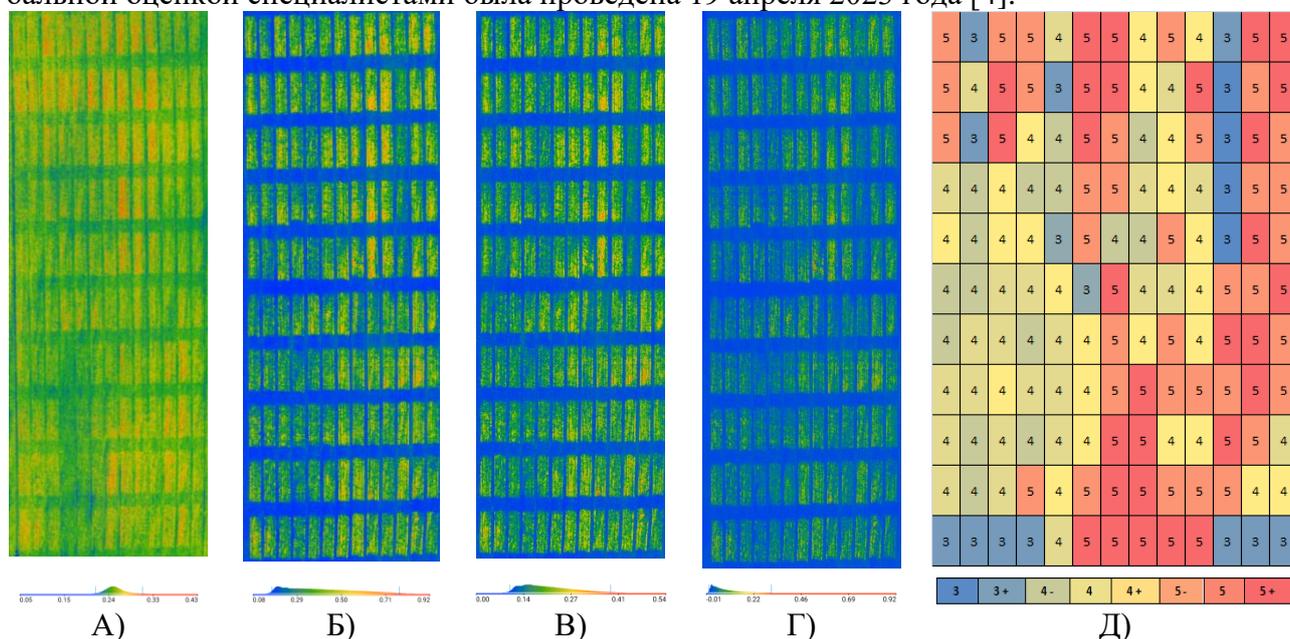


Рис. 1. Ортофотопланы показателей индексов: NDVI, осень (А, 9.11.2022), весна (Б, 18.04.2023), NDRE (В, 18.04.2023), ClGreen (Г, 18.04.2023) и балльной оценки специалиста (Д, 19.04.2023)

Результаты 2023 года, как и результаты предыдущих лет [4, 5], показали высокую корреляционную связь традиционной балльной оценки специалистом и показателей весенних вегетационных индексов (от 0,62 до 0,83), полученных с дрона. В тоже время подобной корреляционной связи на уровне осенних вегетационных индексов и весенней балльной оценкой перезимовки не прослеживается (от 0,2 до 0,5) в исследуемых образцах (табл. 2).

Таблица 2

**Коэффициенты корреляции вегетационных индексов перезимовки озимой мягкой пшеницей с весенней балльной оценкой, 2021...2023 гг.**

Вегетационный индекс	Срок получения данных по вегетационным индексам посевов				
	2021г. (весна)	2021 г. (осень)	2022 г. (весна)	2022 г. (осень)	2023 г. (весна)
NDVI	0,696	0,468	0,814	0,257	0,624
NDRE	0,722	0,498	0,830	0,576	0,680
ClGreen	0,736	0,498	0,785	0,306	0,332
Количество исследуемых делянок	180	120		130	

Анализируя уровень корреляционной связи по годам отмечается, что сильная корреляция балльной оценки перезимовки просматривается на всех весенних вегетационных индексах и не отмечается в осенних данных. Снижение весенних корреляционных связей в 2023 г обусловлено поздним сроком посева в 2022 году, в отличие от предыдущих лет исследований. Посевы озимых характеризовались уходом в зимний период на фазе шильца (фаза третьего листа, рис. 2). Можно также отметить стабильность проявления по годам корреляционных связей традиционной балльной оценки с показаниями весенних

вегетационных индексов у NDVI и NDRE и менее стабильно у CIGreen. В тоже время более слабая прямая зависимость между весенней балльной оценкой перезимовки и осенними показателями вегетационных индексов у NDVI отмечают этот индекс, как более объективный для практического использования.

Данные вегетационных индексов позволяют провести объективную статистическую обработку полученных результатов на выявление значимых отклонений в перезимовке исследуемых сортообразцов (табл. 3).



Рис. 2. Общий вид растений озимой мягкой пшеницы перед уходом в зиму, 14.11.2022 г.

Таблица 3

**Результаты дисперсионного анализа по перезимовке сортообразцов озимой мягкой пшеницы по показателям вегетационного индекса NDVI, 2023 г.**

№	Вариант / линия	Кол-во	Среднее	Дисперсия	Ср.кв.откл.	Ошибка	Точность%
1	Тимирязевская Юбилейная	4	0,35768	0,00025	0,01592	0,00796	2,23
2	Скипетр (ст.)	4	0,32765	0,00044	0,02099	0,01050	3,20
3	Киев8хФрид	4	0,32440	0,00010	0,01014	0,00507	1,56
4	Памяти Каткова	4	0,31267	0,00017	0,01310	0,00655	2,09
5	Московская 27	4	0,38227	0,00057	0,02391	0,01195	3,13
6	Зуша	4	0,32695	0,00012	0,01097	0,00549	1,68
7	(ЛхФ17)Ф17	4	0,34620	0,00071	0,02656	0,01328	3,84
8	Отб4хФ17	4	0,29708	0,00013	0,01135	0,00568	1,91
9	Лютесценс №22	4	0,31410	0,00013	0,01143	0,00572	1,82
10	Лебединая 17	4	0,37508	0,00043	0,02083	0,01041	2,78
11	Лютесценс №132-15	4	0,33865	0,00006	0,00764	0,00382	1,13
12	Лютесценс №141	4	0,39910	0,00028	0,01663	0,00831	2,08
13	Л.Шатенка	4	0,43503	0,00008	0,00894	0,00447	1,03
14	Л.Блондинка	4	0,44070	0,00106	0,03252	0,01626	3,69
15	Мильтурум Ф17А71	4	0,36018	0,00035	0,01882	0,00941	2,61
16	Победа77(оз. тв. пшеница)	4	0,31610	0,00098	0,03134	0,01567	4,96
17	Мультирум 14-4	4	0,40215	0,00030	0,01720	0,00860	2,14
18	Тимирязевская Юбилейная 1	4	0,40270	0,00086	0,02926	0,01463	3,63
19	Тимирязевская Юбилейная 2	4	0,40315	0,00067	0,02580	0,01290	3,20
20	Тимирязевская Юбилейная 3	4	0,35998	0,00018	0,01335	0,00667	1,85
ПО ОПЫТУ		80	0,36109	0,00203	0,04502	0,00503	1,39
Источ.вариации	Сумма кв.	Ст.сво боды	Дисперсия	Ффакт	Фтаб095.	Влияние, %	
Общее	0,1601	79				100	
Повторений	0,0023	3				1,444	
Вариантов	0,1365	19	0,0071837	19,242	1,8	85,263	
Случайное	0,0213	57	0,0003733			13,293	

Ош.ср.= 0,00967; Точ.опыта, %= 2,675; Ош. разности = 0,01362; НСР05= 0,0272  
 перезимовке стандарт (табл. 2 – выделено полужирным шрифтом).

### Заключение

Сделан вывод, что стабильная по годам корреляционная связь весенних вегетационных индексов NDVI и NDRE с балльной оценкой перезимовки специалистом, позволяет включать показания вегетационных индексов отражения в дисперсионную оценку качественной характеристики селекционных образцов озимых культур в сравнении с контролем. Такие объективные показания позволяют отбраковать неустойчивые линии и выделять образцы, достоверно превышающие стандарт по перезимовке, что невозможно проделать по субъективным балльным характеристикам.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FGZZ-2022-0011 Мониторинг селекционно-семеноводческих посевов с использованием цифровых технологий с целью повышения продуктивности новых сортов).*

### Литература

1. Малкандуева А.Х., Шамурзаев Р. И., Малкандуев Х.А. Перезимовка озимой пшеницы в зависимости от приемов возделывания в условиях вертикальной зональности КБР // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2020. – № 6(98). – С. 173-180. – DOI: 10.35330/1991-6639-2020-6-98-173-180.
2. Пивченко Д.В., Мешалкина Ю.Л., Ярославцев А.М., Тихонова М.В., Визирская М.М., Васенев И.И. Сравнительный анализ вегетационных индексов для агроэкологического мониторинга озимой пшеницы в условиях Московской области // АгроЭкоИнфо. – 2019. – №3(37). – С. 22.
3. Курбанов Р.К., Захарова Н.И., Захарова О.М., Горшков Д.М. Оценка перезимовки всходов селекционной озимой пшеницы с помощью БПЛА // Инновации в сельском хозяйстве. – 2019. – № 3(32). – С. 133-139.
4. Вилунов 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. DOI: 10.24412/2309-348X-2022-3-73-83
5. Kurbanov R., Zakharova N., Sidorenko V., Vilyunov S. (2022). The Use of Vegetation Indices in Comparison to Traditional Methods for Assessing Overwintering of Grain Crops in the Breeding Process. In: Hu, Z., Wang, B., Petoukhov, S., He, M. (eds) Advances in Artificial Systems for Power Engineering II. AIPe 2021. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 119. Springer, Cham. DOI 10.1007/978-3-030-97064-2\_6

### References

1. Malkandueva A.Kh., Shamurzaev R. I., Malkanduev Kh.A. Overwintering of winter wheat depending on cultivation practices under conditions of vertical zonality of KBR // *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN*. - 2020. - no. 6(98). - Pp. 173-180. - DOI 10.35330/1991-6639-2020-6-98-173-180. (In Russian)
2. Pivchenko D.V., Meshalkina Yu.L., Yaroslavtsev A.M., Tikhonova M.V., Vizirskaya M.M., Vasenev I.I. Comparative analysis of vegetation indices for agroecological monitoring of winter wheat under conditions of Moscow region // *AgroEkoInfo*. - 2019. - no. 3(37). - P. 22. (In Russian)
3. Kurbanov R.K., Zakharova N.I., Zakharova O.M., Gorshkov D.M. Assessment of overwintering of seedlings of breeding winter wheat using UAVs // *Innovatsii v sel'skom khozyaistve*. - 2019. - no. 3(32). - Pp. 133-139. (In Russian)
4. Vilyunov S.D., Zotikov V.I., Sidorenko V.S., Starikova Zh.V., Mal'tsev A.A. Application of vegetation indices in winter soft wheat breeding // *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*. - 2022. - no. 3(43) -Pp.73-83. DOI: 10.24412/2309-348X-2022-3-73-83 (In Russian)
5. Kurbanov R., Zakharova N., Sidorenko V., Vilyunov S. (2022). The Use of Vegetation Indices in Comparison to Traditional Methods for Assessing Overwintering of Grain Crops in the Breeding Process. In: Hu, Z., Wang, B., Petoukhov, S., He, M. (eds) Advances in Artificial Systems for Power Engineering II. AIPe 2021. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 119. Springer, Cham. DOI 10.1007/978-3-030-97064-2-6