

номерному движению тележек по направляющим, что способствует повышению качества распределения дождя, снятия точечных нагрузок и уменьшения нагрузки крутящего момента от асимметричного присоединения питающего шланга и троса.

4. Использование в качестве натяжителя питающего шланга свободно висящего груза, взаимодействующего с ним через трос, проходящий через блок, с силой равной натяжению, позволяет в постоянном режиме компенсировать возникающие температурные деформации.

5. Устройство позволяет проводить регулируемое орошение рассады всех культур верхнего полива, а также полив зеленных культур и выгонки лука на перо.

ЛИТЕРАТУРА

1. Теплицы России // АГРОИНВЕСТР: ПРО Растениеводство. URL: <https://www.agroinvestor.ru/analytics/news/25317-ploshchad-teplits-v-strane-dostignet-2-3/> / Дата обращения 01.10.2025
2. Грушин А.В., Гжибовский С.А., Коломеец А.В. Теоретический расчет механизма привода автоматизированной системы орошения рассадных теплиц // Мелиорация и водное хозяйство. 2025. № 5. С. 20–22.
3. Сафонов Д.А., Шупелькова Т. П. Технология выращивания рассады капусты брокколи кассетным способом // Горинские чтения. Инновационные решения для АПК: материалы Международной научной конференции. 2023. С. 342.
4. Учебно-практическое пособие для агрономических специальностей / Н.В. Коцарева, О.Н. Шабета, А.С. Шупельков, А.Н. Крючков. Белгород: ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина». 2020. С. 257.
5. Грушин А.В., Коломеец А.В. Верификация гидравлического расчета при строительстве систем капельного орошения // Наука и мир. 2025. № 6. С. 31–35.
6. Работа по теме: ответы по овощеводству. Глава: 64. Технология выращивания рассады капусты (в кассетах). Вуз: КрасГАУ. URL: <https://studfile.net/preview/2906003/page:32/> / Дата публикации: 10.04.2015.
7. РД-АПК 1.10.09.01–14. Методические рекомендации по технологическому проектированию теплиц и тепличных комбинатов для выращивания овощей и рассады: утв. и введ. в действие 13 августа 2014 г. взамен НТП 10–95. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2014. 109 с.
8. Грушин А.В., Гжибовский С.А., Коломеец А.В. Актуальность развития тепличного комплекса // Вестник мелиоративной науки. 2024. № 1. С. 62–66.

9. Лунёв Д.В. Совершенствование элементов технологии выращивания рассады капусты белокочанной кассетным способом: автореферат ... канд. с.-х. наук. М., 2006. 24 с.

REFERENCES

1. Greenhouses of Russia // AGROINVEST: PRO Plant Growing. URL: <https://interagro.info/news/smi-o-nas/interagro-v-zhurnale-apk-news-/> / Accessed on 01.10.2025.
2. Grushin A.V., Gzhibovsky S.A., Kolomeets A.V. Theoretical calculation of the drive mechanism of an automated irrigation system for seedling greenhouses // Land reclamation and water management. 2025. No. 5. Pp. 20–22.
3. Safonov D.A., Shupelkova T.P. Technology of growing broccoli seedlings using the cassette method // Gorin Readings. Innovative Solutions for the AIC. Proceedings of the International Scientific Conference. 2023. P. 342.
4. Educational and practical manual for agronomic specialties / N.V. Kotsareva, O.N. Shabetya, A.S. Shupelkov, A.N. Kryuchkov. Belgorod: Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorin. 2020. P. 257.
5. Grushin A.V., Kolomeets A.V. Verification of hydraulic calculations in the construction of drip irrigation systems // Science and the World. 2025. № 6. P. 31–35.
6. Work on the topic: answers on vegetable growing. Chapter: 64. Technology of growing cabbage seedlings (in cassettes). University: KrasGAU. URL: <https://studfile.net/preview/2906003/page:32/> / Published on: 10.04.2015.
7. RD-APK 1.10.09.01–14. Methodological recommendations for technological design of greenhouses and greenhouse complexes for growing vegetables and seedlings. Approved and put into effect by A.A. Velmatov, Acting Director of the Department of Scientific and Technical Policy and Education of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation, on August 13, 2014.
8. Grushin A.V., Gzhibovsky S.A., Kolomeets A.V. The relevance of the development of the greenhouse complex // Bulletin of Land Reclamation Science. 2024. No. 1. Pp. 62–66.
9. Lunev D.V. Improvement of the elements of the technology for growing white cabbage seedlings using a cassette method.

Грушин Алексей Владимирович, науч. сотрудник, *gav.vniiraduga@yandex.ru*, AuthorID: 914880; **Гжибовский Сергей Александрович**, ст. науч. сотрудник, *gsa@vniiraduga.ru*, SPIN-код: 4219-9236, AuthorID: 549400, Orcid: 0000-0001-6742-2417; **Коломеец Анастасия Валерьевна**, мл. науч. сотрудник, *kolomeec.n@bk.ru*, SPIN-код: 1610-2385, AuthorID: 1046655, отдел техники и технологии микроорошения (ВНИИ систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга», г. Коломна, Россия).

УДК 631.559:635.34

DOI: 10.32962/0235-2524-2025-6-41-42

РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ИНДЕКСОВ NDVI И УРОЖАЙНОСТИ БЕЛОКОЧАННОЙ КАПУСТЫ

М.С. ЗВЕРЬКОВ, С.С. СМЕЛОВА, Т.Г. СТЕПАНОВА

Ключевые слова: урожайность, капуста белокочанная, NDVI.

Keywords: yield, white cabbage, NDVI.

Аннотация. В статье показаны результаты оценки возможной хозяйственно полезной урожайности белокочанной капусты (*Brassica oleracea* L.). Методика может быть полезной сельскохозяйственным товаропроизводителям при уточнении прогноза урожайности методами дистанционного зондирования Земли. Ошибка результатов прогноза находится в пределах 0,8...9,8%.

Abstract. The results of assessing the possible useful yield of white cabbage (*Brassica oleracea* L.) is showed in the article. The technique can be useful for agricultural producers when clarifying the yield forecast using Earth remote sensing methods. The error of the forecast results is within 0,8...9,8%.

Введение. В последнее время фокус многих исследований направлен на оценку продуктивности сельскохозяйственных культур. Многие авторы отмечают

важность оценки продуктивности в целях оптимизации севооборотов и менеджмента ресурсов [1]. Ряд работ посвящен оценке эффективности возделывания культур в различных природных условиях и вариантах агротехники [2, 3]. Оценка урожайности также требуется при обосновании рентабельности производства. Для органов власти агропромышленного комплекса прогноз урожайности позволяет оценивать достижимость целей экономического развития [4]. Поэтому пристальное внимание уделяется совершенствованию методов оценки состояния сельхозкультур с помощью различных вегетационных индексов. Среди них наибольшее распространение получил нормализованный разностный индекс NDVI, который представляет со-

бой характеристику соотношения величин красного и ближнего инфракрасного спектра. Этот диапазон длин волн успешно используют для картирования растительности [5]. Индекс NDVI является одним из универсальных методов качественной оценки состояния растительного покрова [6].

Материалы и методы исследований. Исследования проводились на территории Коломенского городского округа Московской области в 2024 и 2025 г. Общее число земельных участков, занятых белокочанной капустой – 104 (с общей площадью 809,2 га), в том числе в 2024 г. – 58 участков (451,5 га), в 2025 г. – 46 участков (357,7 га). Зная расчетное значение урожайности и график хода вегетационного индекса NDVI, можно составить прогноз урожайности сельскохозяйственных культур. Для вычисления вегетационных индексов NDVI использовались свободно распространяемые геореференцированные растровые изображения в красном и ближнем инфракрасном диапазоне спутника Sentinel-2, которые в настоящее время являются наиболее предпочтительными материалами для анализа. Последнее обусловлено их разрешающей способностью по сравнению с другими спутниковыми данными. Необходимо учитывать, что NDVI является случайной величиной, зависящей от многих факторов.

Для точного прогнозирования урожайности необходимо брать в расчет значение NDVI, приходящееся на момент пика развития культуры, то есть максимальное значение. Для прогнозирования урожайности необходимо владеть информацией о максимальной потенциальной урожайности возделываемого сорта сельскохозяйственной культуры, а также учитывать значение индекса NDVI в фазу колошения для зерновых или в фазу максимального развития листьев для всех остальных культур. В данном исследовании потенциально возможная урожайность вычислялась по методике А.А. Ничипоровича, приводилась к величине стандартной влажности. В общем случае прогнозное значение урожайности Y_{NDVI} также является случайной величиной, так как определяющие ее параметры имеют стохастические свойства:

$$Y_{NDVI} = f(NDVI_{max,i}; Y_{pot}).$$

Зная фактически полученную урожайность в хозяйстве Y_{fact} , определяют ошибку $Er(Y_{NDVI,1})$ прогноза:

$$Er(Y_{NDVI,1}) = \left[|Y_{NDVI,1} - Y_{fact}| / Y_{fact} \right] 100 \%$$

Удовлетворительными считают прогнозы с ошибкой до 15%.

Результаты и обсуждение. Максимальные значения вегетационного индекса NDVI белокочанной капусты (*Brassica oleracea* L) в 2024 г. достигали 0,869, в 2025 г. – 0,87; минимум в 2024 г. – 0,496, в 2025 г. – 0,652. По данным ДЗЗ наилучшим образом капуста развивалась в 2025 г. со средним NDVI = 0,816 ($SE = 0,007$, $CI = 0,015$, $SD = 0,05$, $median = 0,829$). Этот показатель в 2024 г. был меньше и составил NDVI = 0,737 ($SE = 0,011$, $CI = 0,022$, $SD = 0,084$, $median = 0,754$). Прогноз урожайности белокочанной капусты в 2024 г. получен на уровне $495,07 \pm 15$ ц/га

($SE = 7,49$, $SD = 56,53$) и в 2025 г. – $547,84 \pm 9,94$ ц/га ($SE = 4,94$, $SD = 33,48$).

Для оценки возможной ошибки прогноза в исследовании используются данные Росстата. Средняя урожайность за период 2022–2024 гг. капусты белокочанной составила 372,5 ц/га в России и 499 ц/га – в Московской области. Тогда возможная ошибка $Er(Y_{NDVI})$ в 2024 г. составляет 0,8%, в 2025 г. – 9,8%.

Заключение. В статье показаны результаты оценки возможной хозяйственно полезной урожайности белокочанной капусты (*Brassica oleracea* L). Приведенная методика может быть полезной сельскохозяйственным товаропроизводителям при уточнении прогноза урожайности и сельскохозяйственных культур методами дистанционного зондирования Земли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Assessing the information in crop model and meteorological indicators to forecast crop yield over Europe // *Agricultural Systems*. 2019. Vol. 168. P. 191–202.
2. Эффективность возделывания сорговых культур в условиях центральной зоны Республики Калмыкия // *Экология и строительство*. 2025. № 1. С. 28–34.
3. Определение оптимальных гидротермических условий произрастания пшеницы мягкой яровой в засушливой степи Алтайского края // *Экология и строительство*. 2025. № 3. С. 12–22.
4. Enhancing crop yield forecasting performance through integration of process-based crop model and remote sensing data assimilation techniques // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2025. Vol. 372, 110696. DOI: 10.1016/j.agrformet.2025.110696.
5. Hassan M. et al. A rapid monitoring of NDVI across the wheat growth cycle for grain yield prediction using a multi-spectral UAV platform // *Plant Science (journal)*. 2019. Vol. 282. P. 95–103.
6. Bede L., Milics G. et al. Yield Prediction Using NDVI Values from GreenSeeker and MicaSense Cameras at Different Stages of Winter Wheat Phenology // *Drones*. 2024. Vol. 8. P. 88. DOI: 10.3390/drones8030088.

REFERENCES

1. Assessing the information in crop model and meteorological indicators to forecast crop yield over Europe // *Agricultural Systems*. 2019. Vol. 168. P. 191–202.
2. Effektivnost' vozdelevaniya sorgovykh kul'tur v usloviyakh tsentral'noi zony Respubliki Kalmykiya // *Ekologiya i stroitel'stvo*. 2025. No 1. С. 28–34.
3. Opredelenie optimal'nykh gidrotermicheskikh uslovii proizrastaniya pshenitsy myagkoi yarovoii v zasushlivoi stepi Altaiskogo kraia // *Ekologiya i stroitel'stvo*. 2025. No 3. С. 12–22.
4. Enhancing crop yield forecasting performance through integration of process-based crop model and remote sensing data assimilation techniques // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2025. Vol. 372, 110696. DOI: 10.1016/j.agrformet.2025.110696.
5. Hassan M. et al. A rapid monitoring of NDVI across the wheat growth cycle for grain yield prediction using a multi-spectral UAV platform // *Plant Science (journal)*. 2019. Vol. 282. P. 95–103.
6. Bede L., Milics G. et al. Yield Prediction Using NDVI Values from GreenSeeker and MicaSense Cameras at Different Stages of Winter Wheat Phenology // *Drones*. 2024. Vol. 8. P. 88. DOI: 10.3390/drones8030088.

Зверьков Михаил Сергеевич, канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник, ORCID: 0000000283484391, Scopus 57221661750, РИНЦ AuthorID: 751258; **Смелова Светлана Станиславовна**, канд. биол. наук, доцент, ст. науч. сотрудник, ORCID: 0009000917170026, Scopus 6504283625, РИНЦ AuthorID: 651060; **Степанова Татьяна Георгиевна**, канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник (Всероссийский НИИ систем орошения и сельскохозяйственного водоснабжения «Радуга», г. Коломна, Россия).