

УДК 631.158, 631.171, 623.746

Г.Г. Рапаков, канд. техн. наук, доцент

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Вологодский государственный университет»,
г. Вологда*

grapakov@yandex.ru

А.Л. Бирюков, канд. техн. наук, доцент

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Вологодская государственная молочнохозяйствен-
ная академия имени Н.В. Верещагина», г. Вологда*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ОЗИМОГО РАПСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Ключевые слова: агроинженерия, мониторинг, беспилотные авиационные системы, озимый рапс, вегетационные индексы, NDVI, NDRE, GNDVI, OSAVI.

Keywords: agroengineering, monitoring, unmanned aircraft systems, winter rape, vegetation indices, NDVI, NDRE, GNDVI, OSAVI.

Аннотация: публикация содержит результаты сравнительного анализа применения основных вегетационных индексов при возделывания озимого рапса в ходе беспилотного мониторинга.

Summary: The publication contains the results of a comparative analysis for the application of the main vegetation indices during the cultivation of winter rapeseed using unmanned monitoring.

Озимый рапс (ОР) широко востребован в сельскохозяйственном производстве, как ценная масличная и кормовая культура, благодаря своей урожайности и экономической эффективности. Вологодская область относится к зоне рискованного земледелия. В целях обеспечения рентабельности ОР используют ранние сроки посева и зимостойкие сорта. В ранневесенний период возобновления вегетации, когда ОР выходит из зимовки и начинает отрастать, повреждения возможны при падении температур до $-8 - -10^{\circ}\text{C}$ в отсутствии снежного покрова. В апреле 2025 г. заморозки с отрицательными ночными температурами в региональном центре продолжались с 05.04.2025 г. ($-1,3^{\circ}\text{C}$) до 13.04.2025 г. ($-3,2^{\circ}\text{C}$). Минимальные значения 06.04.2025 г. составили $-6,7^{\circ}\text{C}$. Такие весенние заморозки — серьезная угроза для ОР в период вегетации, не смотря на холодостойкость региональных сортов и гибридов: «Галион», «Мемори», «Антей», а также «Северянин» и «Ратник», которые используются для товарного производства и кормовых целей соответственно.

Достоверно и своевременно оценить последствия весенних заморозков для посевов ОР и повреждение точки роста позволит мониторинг, выполненный при помощи беспилотных авиационных систем (МБАС). Актуальность и практическая значимость работы определяется последующим анализом с построением карт вегетационных индексов (ВИ) по ОР: NDVI (нормализованный относительный индекс растительности), NDRE (нормализованный разностный индекс красного края), GNDVI (индекс зеленой нормализованной разницы растительности), OSAVI (индекс растительности с оптимизированным учетом почвы). Базовый облет до заморозков фиксирует начальное состояние посевов. МБАС после заморозков выявляет зоны с падением ВИ. Сравнительный анализ ВИ до и после проведения агротехнических мероприятий позволяет оценить эффективность внесения средств защиты растений (СЗР) и удобрений.

МБАС был выполнен авторами публикации на землях региональных сельскохозяйственных предприятий с соблюдением законодательных требований. Проведение МБАС позволяет агрегировать информацию для последующей оценки необходимости пересева поврежденных участков ОР (если их суммарная площадь составит более 70%) по окончании весенних заморозков (с 05.04.2025 г. до 13.04.2025 г.) и принятию управленческих решений по точечному внесению удобрений – подкормка азотом и стимуляторы (в случае более 30% повреждений). На основе спектральных данных были построены карты основных вегетационных индексов, показывающие состояние ОР: NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – общая жизнеспособность и биомасса; NDRE (Normalized Difference Red Edge) – содержание азота и хлорофилла; GNDVI (Green NDVI) – фотосинтетическая активность; OSAVI (Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index) – учет влияния почвы. Расчет ВИ для гистограмм значений сведен в таблицу 1.

Таблица 1 – Параметры гистограмм значений вегетационных индексов

Класс	Левая граница	Правая граница	Максимум
NDVI	-0,41087	0,54897	0,031
NDRE	-0,21224	0,18447	0,020
GNDVI	-0,48829	0,48859	0,040
OSAVI	-0,47723	0,63587	0,038

Результаты построения карт вегетационных индексов озимого рапса (NDVI, NDRE, GNDVI и OSAVI) и гистограмм значений, масштабированных к диапазону [0, 1], представлены на рисунках 1–4 соответственно.

Значение $NDVI < 0,3$ показывает слабое развитие растительности. Карта NDRE, выполненная после перезимовки (по состоянию на апрель 2025 г.) используется для оценки повреждений от морозов и выпревания. Зоны зимних сильных выпадов с $NDRE < 0,3$ могут рассматриваться для пересева яровым рапсом. При более высоких значениях NDRE от 0,4 до

0,5 применяется дифференцированное внесение азота (30 кг/га). В целях уточнения необходимо провести наземную проверку зон выпадов и взять образцы растений. Повторный облет рекомендуется выполнить через 2 недели. Индекс GNDVI обладает преимуществами перед NDVI: более высокая чувствительность для ранних стадий вегетации и восприимчивость к хлорофиллу. Показатель GNDVI лучше подходит для обнаружения ранних стадий стресса растений и менее зависит от влияния почвы. Значения $GNDVI < 0,4$ рассматриваются, как критические (повреждение морозами) и требуют срочной азотной подкормки (35–40 кг/га). Почвенно-скорректированный индекс OSAVI рассчитывается с учетом поправочного параметра для минимизации влияния почвы. Достоинствами применения OSAVI для рапса являются: высокая эффективность на ранних фазах развития; незначительное влияние оголенной почвы, что актуально при изреженных посевах; большая чувствительность при мониторинге в условиях облачности; широко используется при дифференцированном внесении удобрений. После перезимовки индекс применяют для ранневесенней диагностики в апреле при оценке сохранности, на полях с неравномерными всходами (фаза роста BBCH 10–19). Значения $OSAVI < 0,4$ рассматриваются как неблагоприятные. Дополнительная азотная подкормка составляет около 30 кг/га. Также для защиты от болезней и вредителей в этом случае практикуется весенняя локальная обработка фунгицидами – против альтернариоза, фомоза («Прозаро», «Рекс Дуо»).

Заключение. Мониторинг при помощи беспилотных авиационных систем является эффективным инструментом точного земледелия для анализа состояния озимого рапса в период весенних заморозков. Дальнейшие перспективы связаны с продолжением геоинформационных исследований, определяющих научную новизну работы. Результаты позволяют оперативно оценить масштабы повреждений посевов при помощи расчета и сравнения информационных слоев – вегетационных индексов NDVI, NDRE, GNDVI и OSAVI; оптимизировать затраты на удобрения и СЗР; повысить урожайность.

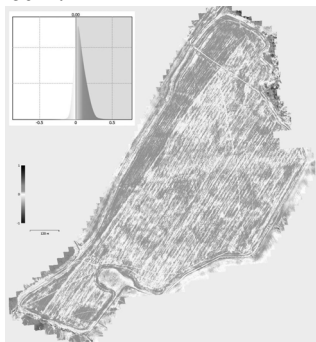


Рисунок 1 – Карта вегетационного индекса NDVI

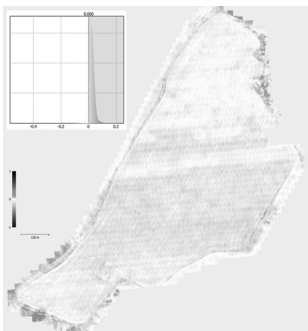


Рисунок 2 – Карта вегетационного индекса NDRE

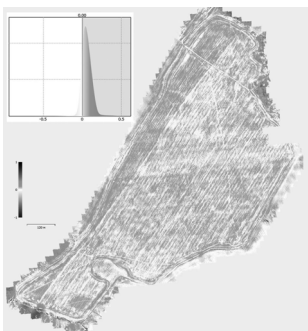


Рисунок 3 – Карта вегетационного индекса GNDVI

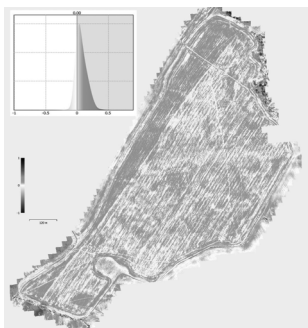


Рисунок 4 – Карта вегетационного индекса OSAVI

Список использованной литературы

1. Лешкевич, Н. В. Фитопатологическое состояние посевов озимого рапса в Беларуси / Н. В. Лешкевич // Защита и карантин растений. – 2023. – № 8. – С. 9–11.