

3. Top Quality Control Methods in Electronics Manufacturing [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://www.vanti.ai/top-quality-control-methods-in-electronics-manufacturing/>.

4. Правиков Ю.М., Муслина Г.Р. Метрологическое обеспечение производства: учебное пособие. – М.: КНОРУС, 2009. – 240 с.

5. Рейх Н. Н., Тупиченков А. А., Цейтлин В.Г. Метрологическое обеспечение производства. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 248 с.

6. Липкин Е. Б. Индустрия 4.0: Умные технологии – ключевой элемент в промышленной конкуренции. – М.: Остек, 2017. – 24 с.

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 молочнохозяйственная академия
имени Н.В. Верещагина», г. Вологда*

ВЕГЕТАЦИОННАЯ ОЦЕНКА ПОСЕВОВ ОЗИМОГО РАПСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БПЛА

Ключевые слова: агроинженерия, мониторинг, беспилотный летательный аппарат, озимый рапс, нормализованный вегетационный индекс NDVI.

Keywords: agroengineering, monitoring, unmanned aerial vehicle, winter rape, normalized vegetation index NDVI.

Аннотация: в работе изложены результаты анализа нормализованного вегетационного индекса NDVI для посевов озимого рапса на основе данных беспилотного мониторинга.

Summary: The article presents the results of the normalized vegetation index NDVI analysis for winter rapeseed crops based on unmanned monitoring.

Одной из ведущих масличных сельскохозяйственных культур в РФ и Республике Беларусь является рапс. Посевные площади рапса (ППР) и его доля в производстве масличных демонстрируют ежегодный рост, в том числе за счет озимого рапса (ОР). Так в 2024 г. увеличение ППР в РФ составило 29%. Это обусловлено востребованностью культуры, как одного из главных источников растительного (рапсового) масла. Также рапс применяется на корм скоту, используется для производства биодизельного

топлива, востребован в фармакологии и косметологии, является медоносной культурой. ОР улучшает структуру почвы и севооборот. Несмотря на то, что валовый сбор рапса в РФ на 2024 г. оценили в 4,6 млн. тонн (из них ОР – 1,45 млн. тонн) при ППР в размере 2,7 млн. га (из них ОР – 0,5 млн. га), средняя урожайность культуры в РФ снизилась на 14% и составила менее 20 ц/га (ОР – 27 ц/га). В Вологодской области на 2024 г. ППР составили 2,6 тыс. га, сбор рапса в сухом состоянии – 5,5 тыс. тонн с годовым приростом 22,5%. Для повышения рентабельности рапса (50% и более) необходимо реализация потенциальных возможностей культуры по урожайности: для семян – 30–40 ц/га, зеленой массы – 40–60 тонн/га, что обуславливает актуальность работы.

Основными факторами риска при выращивании рапса являются: состояние и агротехническая подготовка почвы, неустойчивость к болезням (альтернариоз, фомоз и склеротиниоз), уязвимость перед вредителями (крестоцветные блошки и рапсовый цветоед), чувствительность к сорнякам и климатические условия (количество осадков и температура). Весенние заморозки зачастую приводят к гибели ОР. Так потери озимого рапса в РФ, который был посеян осенью 2024 г., по ряду оценок составляют 40–60%. Современные агрономические практики, выполняемые с учетом региональных особенностей, способствует оптимизации затрат и росту эффективности сельскохозяйственных предприятий. К числу инновационных технологий, используемых при организации и управлении сельскохозяйственным производством, и определяющих практическую значимость исследования является применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для геоинформационного мониторинга посевов ОР. Научные подходы, обеспечивающие устойчивость развития агропромышленного комплекса (АПК) региона, предполагают: оптимизацию маршрутов мониторинга БПЛА для оперативного охвата угодий; использование современных методов анализа данных при оценке значимых факторов, влияющих на формирование высокопродуктивных посевов, и предоставление рекомендаций для местных хозяйств.

Цель работы. На основе данных беспилотного мониторинга выполнить вегетационный анализ пространственных характеристик выращивания рапса для агропредприятий региона с учетом погодных факторов и определить перечень практических работ.

Материалы и методика исследования. Результаты библиографического поиска и сравнительный анализ литературных источников позволили сопоставить цели и методы работы с аналогичными задачами [1-2]. Квадрокоптер DJI P4 Multispectral с мультиспектральной камерой выполняет съемку в RGB и 5 спектральных диапазонах: blue (450 нм), green (560 нм), red (650 нм), red edge (край красного спектра)(730 нм) и NIR (ближнем инфракрасном)(840 нм). На основании результатов обработки мультиспектральных изображений был получен нормализованный вегетационный индекс. Результаты расчета NDVI представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета NDVI

Класс	Среднее значение NDVI	Площадь (га)
1	0,003	18,554 (25%)
2	0,060	34,658 (45%)
3	0,119	23,784 (30%)

Результаты визуализации NDVI представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Расчет индекса NDVI (классы №№1-3)

Индекс растительности NDVI отвечает за общую жизнеспособность и биомассу. Его величина позволяет выполнить анализ текущего состояния ОР (ВВСН 10-19), построить карты изменчивости и контролировать проведение агротехнических мероприятий. Значение $NDVI < 0,3$ для всех 3 классов области мониторинга показывает слабое развитие растительности, обусловленное: климатическими условиями региона – продолжительной зимой со снежным покровом до 180 дней и поздней весной с возвратными заморозками, которые влияют на перезимовавшие посевы; бесснежные зимы приводят к потерям вымерзания; сопутствующими рисками – выпреванием из-за затяжных оттепелей, затоплением посевов весной на тяжелых почвах и высокой влажностью почв в низинах. В апреле 2025 г. весенние заморозки продолжались с 05.04.2025 г. ($-1,3^{\circ}\text{C}$) до 13.04.2025 г. ($-3,2^{\circ}\text{C}$). По результатам мониторинга посевов ОР, проведенного авторами публикации с 01.04.2025 г. по 04.04.2025 г., к наиболее проблемной зоне следует отнести территорию, представленную Классом №1 (25% площади). Весенний мониторинг позволяет оценить процент перезимовки и наличие болезней. Если в результате дальнейших наблюдений выяснится, что повреждения затронули более 30% – будет рекомен-

дована точечная подкормка азотом в проблемных участках и использование стимуляторов; более 70% – рассмотреть необходимость пересева поврежденных участков яровым рапсом. Первая подкормка проводится в дозе N50–70. Регуляторы роста требуются для стимулирования бокового ветвления (особенно при подмерзании точки роста). Рекомендована весенняя азотная подкормка в два этапа (после возобновления вегетации и в фазе стеблевания) с нормой 80–100 (кг/га д.в.).

Реализация агроинженерных технологий на основе беспилотного мониторинга позволит минимизировать риски выращивания озимого рапса и обеспечить своевременные меры в ходе восстановления растений. Для снижения затрат и повышения урожайности рапса рекомендованы точные агрорешения. Дальнейшие перспективы связаны: с исследованием основных вегетационных индексов рапса: NDRE (Normalized Difference Red Edge), GNDVI (Green NDVI) и OSAVI (Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index); оценкой состояния посевов после весенних заморозков, а также изучением динамики развития на основе фенологических стадий.

Список использованной литературы

1. Давидович, Ю. С. Спектральная отражательная способность озимого ячменя и рапса и их изображение на материалах дистанционных съемок / Ю. С. Давидович // ГИС-технологии в науках о Земле: материалы республиканского научно-практического семинара студентов и молодых ученых, Минск, 17 ноября 2021 года. – Минск: Белорусский государственный университет, 2021. – С. 221–227.
2. Шпанев, А. М. Достижения и перспективы исследований по защите растений в Агрофизическом НИИ / А. М. Шпанев, В. В. Смук // Агрофизический институт: 90 лет на службе земледелия и растениеводства : Материалы международной научной конференции, Санкт-Петербург, 14–15 апреля 2022 года. – Санкт-Петербург: Агрофизический научно-исследовательский институт, 2022. – С. 501–508.

УДК 338.48

В.В. Цвирков, канд. с.-х. наук, доцент

Государственное научное учреждение

«Научно-исследовательский экономический институт

Министерства экономики Республики Беларусь», г. Минск

ФОРМИРОВАНИЕ ИНТЕГРАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ В ЛЬНОПРОДУКТОВОМ ПОДКОМПЛЕКСЕ БЕЛАРУСИ

Ключевые слова: льноволокно, треста, льнозавод, льнокомбинат, кластер.

Keywords: flax fiber, trust, flax mill, flax processing plant, cluster.