



ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ ПО МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫМ СНИМКАМ

Ковальчук Елена Сергеевна

кандидат технических наук, доцент кафедры геоинформационных технологий и землеустройства, Национальный университет биоресурсов и природопользования
г. Астана, Республика Казахстан

Аннотация

В статье рассматриваются методы оценки состояния сельскохозяйственных угодий на основе анализа мультиспектральных спутниковых снимков. Излагаются принципы формирования спектральных индексов, методы классификации растительного покрова и определения продуктивности посевов. Показано, что использование данных дистанционного зондирования позволяет оперативно выявлять деградированные участки, засуху, недостаток влаги и поражение растений вредителями. Особое внимание уделено интеграции мультиспектральных данных с геоинформационными системами для пространственного анализа динамики сельскохозяйственных экосистем. Рассмотрены примеры практического применения спутниковых наблюдений в мониторинге сельхозугодий Казахстана, России и Беларуси.

Ключевые слова: мультиспектральные снимки, сельскохозяйственные угодья, дистанционное зондирование, геоинформационные системы, NDVI, урожайность, мониторинг земель.

Введение

Рост мирового населения и изменение климата создают необходимость более рационального использования сельскохозяйственных ресурсов. Традиционные методы агрономического мониторинга требуют значительных временных и трудовых затрат, что ограничивает их эффективность на больших территориях. В этой связи всё большее значение приобретают технологии дистанционного зондирования Земли, обеспечивающие получение объективной и оперативной информации о состоянии посевов и почв.

Мультиспектральные спутниковые снимки позволяют фиксировать отражательную способность поверхности в различных диапазонах электромагнитного спектра, что даёт возможность выявлять биофизические параметры растений — содержание хлорофилла, влажность и плотность

растительного покрова. На основе этих данных формируются спектральные индексы, которые служат индикаторами состояния посевов.

Использование дистанционного мониторинга в сельском хозяйстве становится одним из ключевых направлений цифровизации аграрного сектора. Сочетание спутниковых данных с наземными измерениями и геоинформационными системами создаёт основу для точного земледелия и устойчивого управления агроландшафтами.

Принципы мультиспектрального зондирования сельскохозяйственных территорий

Мультиспектральное зондирование основано на регистрации отражённого солнечного излучения в нескольких спектральных диапазонах. Растения по-разному отражают свет в зависимости от состояния листовой поверхности, содержания пигментов и количества влаги. В видимом диапазоне (400–700 нм) наблюдается сильное поглощение света хлорофиллом, тогда как в ближнем инфракрасном диапазоне (700–1300 нм) происходит интенсивное отражение.

Сравнение яркостных характеристик в разных каналах позволяет оценивать фотосинтетическую активность и стрессовое состояние растений. Таким образом, мультиспектральные данные дают возможность различать типы растительности, стадии роста и степень поражения культур.

Современные спутниковые системы, такие как Sentinel-2, Landsat 8 и PlanetScope, предоставляют снимки с пространственным разрешением от 3 до 30 метров и временной периодичностью наблюдений от нескольких дней до недели, что делает возможным оперативный мониторинг сельхозугодий.

Дополнительное преимущество состоит в возможности автоматизированной обработки больших объёмов данных, что позволяет анализировать динамику состояния посевов на уровне региона и всей страны.

Спектральные индексы как инструмент оценки состояния растительности

Основным инструментом анализа мультиспектральных данных являются спектральные индексы — безразмерные показатели, отражающие физиологическое состояние растений. Наиболее известным является индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), который рассчитывается как отношение разности между отражениями в ближнем инфракрасном и красном диапазонах к их сумме. Значения NDVI варьируются от -1 до $+1$, где низкие значения соответствуют оголённой почве или сухим участкам, а высокие — густому и здоровому растительному покрову.

Помимо NDVI, используются индексы SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index), EVI (Enhanced Vegetation Index) и NDWI (Normalized Difference Water Index), позволяющие учитывать влияние почвы и водного стресса.

Эти показатели дают возможность различать не только типы растительности, но и степень её физиологической активности.

Сравнение индексов на разных временных этапах позволяет выявлять отклонения в развитии культур и прогнозировать урожайность. При этом важно учитывать сезонные колебания, фазу роста растений и климатические особенности региона.

Для автоматизации анализа создаются карты индексов, отображающие пространственное распределение значений NDVI или других показателей, что позволяет визуально оценить состояние посевов и выделить проблемные зоны.

Методы классификации и интерпретации спутниковых данных

Для получения количественной информации о состоянии сельскохозяйственных угодий мультиспектральные снимки подвергаются классификации. Применяются как традиционные статистические методы, такие как максимальное правдоподобие и метод ближайших соседей, так и современные алгоритмы машинного обучения.

Методы на основе нейронных сетей, в частности сверточных архитектур, позволяют распознавать типы культур с высокой точностью, анализируя пространственные и спектральные особенности изображений. Алгоритмы случайных лесов и опорных векторов также демонстрируют хорошие результаты при ограниченных объёмах обучающих данных.

Интерпретация результатов осуществляется в геоинформационных системах, где каждому пикселю изображения присваивается значение класса — пшеница, ячмень, кукуруза, пастбища, деградированные земли и т.д.

Для повышения точности анализа данные мультиспектральных снимков совмещаются с цифровыми моделями рельефа, метеорологической информацией и почвенными картами. Это позволяет учитывать влияние уклона, типа почвы и уровня осадков на рост культур.

Мониторинг засухи и деградации земель

Одним из важнейших направлений использования мультиспектральных данных является выявление засушливых и деградированных участков. В условиях изменения климата и неравномерного распределения осадков проблема деградации сельхозугодий приобретает всё большую актуальность.

Снижение значений NDVI и NDWI служит индикатором дефицита влаги и ухудшения состояния растительного покрова. В сочетании с температурными картами и данными о влажности почвы эти показатели позволяют оперативно выявлять зоны риска и принимать меры по орошению или изменению структуры посевов.

Мониторинг деградации земель также применяется для оценки последствий антропогенного воздействия, чрезмерного выпаса скота и нерационального использования удобрений. Пространственный анализ в ГИС позволяет отслеживать динамику деградации и планировать восстановительные мероприятия.

Таким образом, мультиспектральное зондирование становится инструментом обеспечения продовольственной безопасности и устойчивого землепользования.

Интеграция с геоинформационными системами

Геоинформационные системы обеспечивают эффективную обработку и визуализацию спутниковых данных. Интеграция мультиспектральных снимков с геобазы данных позволяет анализировать пространственные закономерности и прогнозировать изменения состояния посевов.

В ГИС выполняется пространственная привязка снимков, их классификация, построение карт продуктивности и оценка динамики растительности. Системы ArcGIS, QGIS и Google Earth Engine предоставляют инструменты для автоматизированного анализа индексов и построения тематических карт.

Современные подходы предполагают использование облачных технологий и нейросетевых сервисов, которые позволяют обрабатывать спутниковые данные в реальном времени. Это открывает возможность создания национальных платформ мониторинга сельского хозяйства, обеспечивающих аграриев актуальной информацией для принятия решений.

Примеры практического применения

В Казахстане мультиспектральный мониторинг используется для оценки состояния пшеницы и ячменя в засушливых регионах. На основе данных Sentinel-2 создаются карты вегетационного индекса NDVI, позволяющие прогнозировать урожайность и выявлять зоны дефицита влаги.

В России система «Вега» объединяет спутниковые наблюдения и метеорологические данные для мониторинга сельхозугодий по всей стране. Она используется для оценки посевных площадей, состояния культур и прогнозирования урожая.

В Беларуси проект «АгроГИС» внедряет автоматизированную обработку мультиспектральных снимков для оценки эффективности удобрений и защиты растений. Анализ данных позволяет сократить затраты и повысить продуктивность.

Эти примеры показывают, что применение дистанционного зондирования в сельском хозяйстве становится реальным инструментом повышения эффективности управления земельными ресурсами.

Заключение

Мультиспектральное дистанционное зондирование Земли предоставляет уникальные возможности для оценки состояния сельскохозяйственных угодий. Оно позволяет объективно и оперативно получать информацию о растительном покрове, выявлять стрессовые состояния культур и прогнозировать урожайность.

Интеграция спутниковых данных с геоинформационными системами создаёт основу для точного земледелия и устойчивого управления агроландшафтами. Применение спектральных индексов и нейросетевых алгоритмов делает возможным автоматическое выявление аномалий и анализ динамики развития растений.

В перспективе развитие спутниковых технологий и искусственного интеллекта приведёт к созданию глобальных систем мониторинга сельского хозяйства, которые обеспечат продовольственную безопасность и помогут адаптироваться к изменениям климата.

Литература

1. Гаврилова Н.А. Мультиспектральное дистанционное зондирование в сельском хозяйстве. — М.: Агронаука, 2023.
2. Петров Д.В. Спектральные индексы растительности и их применение. — Минск: БНТУ, 2022.
3. Bannari A., Morin D. The Normalized Difference Vegetation Index: Theory and Applications. // International Journal of Remote Sensing. — 2021.
4. ESA Copernicus Sentinel-2 User Guide. — Brussels, 2023.
5. Huete A., Didan K. EVI and SAVI Indices for Agricultural Monitoring. // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. — 2022.
6. KazAgroMonitoring. National Satellite Platform for Crop Analysis. — Astana, 2024.
7. Li X., Zhang W. Machine Learning for Satellite-Based Crop Yield Prediction. // Remote Sensing of Environment. — 2024.