

УДК 631.4

КУДРЯВЦЕВ М.А., аспирант, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва»,
г. Саранск

АНАЛИЗ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ

Сельское хозяйство сегодня сталкивается с двойным давлением. С одной стороны, население планеты растет – к 2050 году ООН прогнозирует отметку в 10 миллиардов человек. Чтобы всех накормить, производство продовольствия придется нарастить наполовину, а то и на 70%. С другой – климат ведет себя все более непредсказуемо: засухи, ливни, аномальная жара бьют по урожаям с нарастающей частотой.

Традиционные методы агрономического контроля здесь уже не спасают. Полевые обследования дают точную, но точечную информацию. Чтобы охватить большие площади, нужны огромные ресурсы – время, люди, деньги. Для регионов с обширными угодьями, таких как Мордовия, оперативный мониторинг вручную практически невозможен.

Выход – в технологиях дистанционного зондирования (ДЗЗ). Они позволяют получать объективные данные о почвах и растительности оперативно и без контакта с землей.

С 2014 года космическая съемка прочно вошла в практику агромониторинга. Периодичность обновления зависит от спутника:

Sentinel-2 – обновление каждые 3 дня. Это позволяет фиксировать фенологические фазы культур практически в реальном времени, замечать угнетение растений (нехватку влаги, болезнь, дефицит питания) и оперативно корректировать планы полевых работ.

Landsat 7 и 8 – обновление раз в 16 дней. Подходят для среднесрочного анализа и оценки состояния ландшафтов на больших пространствах. С их помощью можно проследить многолетнюю динамику, выявить зоны эрозии или засоления, строить прогнозы урожайности.

MODIS – съемка по сезонным запросам. Данные полезны для оценки состояния посевов весной, измерения температуры поверхности, анализа снежного покрова и влагозапасов, мониторинга засух и пожаров на региональном уровне.

Комбинация этих источников дает явные выгоды: все данные открыты и бесплатны, что сильно экономит бюджет. Sentinel-2 дает частоту, Landsat – глубину временного ряда, MODIS – сезонные макропоказатели.

Мультиспектральная съемка измеряет отражение земной поверхности в видимом и инфракрасном диапазонах. На основе этих данных рассчитывают спектральные индексы – главные индикаторы состояния посевов.

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) показывает общую зеленую массу и ход развития культур. Он строится на контрасте между

поглощением хлорофиллом красного света и высокой отражательной способностью растительности в ближнем инфракрасном диапазоне (NIR).
Формула индекса:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (1)$$

Значения индекса лежат в интервале от -1 до $+1$ (рис. 1). Чем выше значение, тем гуще и здоровее растительность.

EVI (Enhanced Vegetation Index) – улучшенный вариант, который корректирует влияние атмосферы и лучше работает на густых посевах. NDMI (Normalized Difference Moisture Index) помогает находить участки с водным стрессом.

RED – коэффициент спектральной яркости в красном диапазоне длин волн (620-740 нм).



Рисунок 1 – Цветовая шкала вегетационного индекса NDVI

Чтобы получить количественные данные о типах растительности и состоянии земель, снимки подвергают классификации – от традиционных статистических методов до алгоритмов машинного обучения.

Точность анализа повышается, если совмещать снимки с цифровыми моделями рельефа, метеоданными и почвенными картами. Это позволяет учесть влияние склона, типа почвы и осадков на рост культур.

Соединение данных ДЗЗ с наземными наблюдениями и геоинформационными системами (ГИС) создает основу для точного земледелия и устойчивого управления агротерриториями.

В России и в Мордовии эти технологии активно внедряются. Электронные карты угодий и истории полей строятся на основе данных агрохимслужбы республики с 1990 года, откорректированных по космическим снимкам Landsat-7, Landsat-8 и Sentinel-2 (последние предпочтительнее из-за разрешения до 10 м и маски облачности), а также сенсора MODIS на спутниках Terra и Aqua [1, 2].

Главная культура в республике – озимая пшеница. Для мониторинга ее состояния используют NDVI, но с поправкой на местные условия (рис. 2).

Для Мордовии это:

- умеренно-континентальный климат с засухами в июле–августе;
- разные типы почв – черноземы (высокое плодородие) и серые лесные (ниже), что влияет на эталонный NDVI;
- сложный рельеф – на склонах индекс часто ниже из-за эрозии.

Интерпретация значений NDVI для озимой пшеницы (с учетом региональных особенностей):

1. < 0,2 – голая почва, залежь, дороги;
2. 0,2–0,4 – всходы или слабое развитие после перезимовки;
3. 0,4–0,6 – нормальное развитие в фазе кущения;
4. 0,6–0,8 – активный рост, выход в трубку, начало колошения (пик вегетации);
5. 0,8 – очень густая растительность (на полях пшеницы встречается редко);
6. снижение до 0,3–0,5 в фазе созревания – естественное пожелтение.

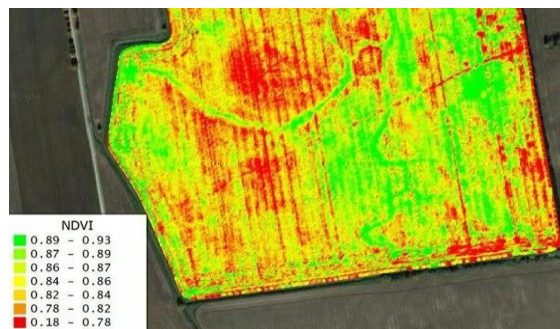


Рисунок 2 - Карта NDVI для полей озимой пшеницы в Мордовии (август 2024 г.)

Характеристика почв сельхозугодий Рузаевского района (пашни, сенокосы, пастбища) представлена в таблице 1.

Характеристика почвенного покрова сельскохозяйственных угодий Рузаевского района, включающих пашни, сенокосы и пастбища, представлена в таблице 1.

Таблица 1. Типы почв сельскохозяйственных угодий Рузаевского района [3]

Типы почв	Площадь сельскохозяйственных угодий, га		
	Пашня	Сенокосы	Пастбища
I	2	3	4
Чернозёмы выщелоченные	25332	1365	2352
Черноземы оподзоленные	20872	8	136
Черноземы карбонатные	693	-	-
Темно-серые лесные	24357	135	299
Серые лесные	28831	143	718
Светло-серые лесные	2444	6	333
Дерново-среднеподзолистые	94	-	108
Дерново-сильноподзолистые	23	-	-
Пойменные	963	940	1 364
Луговые и болотные	-	899	405
Прочие	1 491	581	15 335
Всего	103609	4077	21050

58,68% территории района занимают черноземы и темно-серые лесные почвы. Они расположены на слабоволнистых равнинах и пологих склонах и пригодны для всех районированных в Мордовии культур, включая зерновые [3].

Разработана почвенная карта Рузаевского района (рис. 3). На ней способом качественного фона показаны основные генетические типы почв.

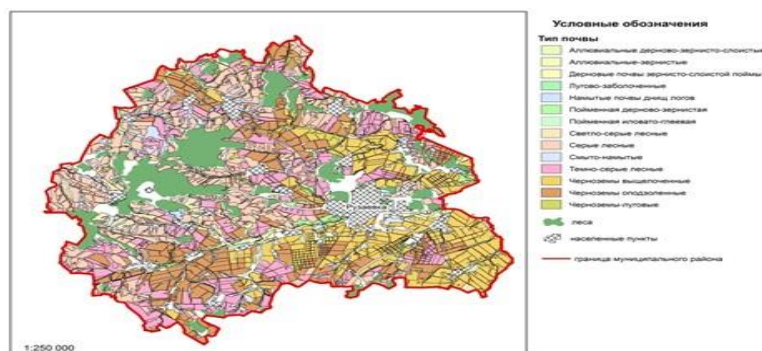


Рисунок 3 – Почвенная карта Рузаевского муниципального района [3].

Для Мордовии доступны ежедневные безоблачные композиты NDVI – они автоматически собираются из спутниковых данных, что позволяет отслеживать растительность даже при частой облачности.

Сервис PRO VEGA предоставляет предобработанные материалы ДЗЗ, включая NDVI (данные MODIS, Sentinel, Landsat). Региональная платформа «АгроСигнал Мордовия» объединяет спутниковые данные, метеоинформацию и отчеты хозяйств.

В таблице 2 приведены значения NDVI для полей озимой пшеницы в Рузаевском районе (август 2024 г.).

Таблица 2 - NDVI для полей озимой пшеницы в Рузаевском районе РМ (август 2024 г.)

Поле	NDVI	Визуальная окраска на карте	Состояние посевов	Причина отклонений
1	0,72	темно-зеленый	отличное	оптимальные условия, высокая биомасса
2	0,55	желтый	слабое развитие	локальная засуха, недостаток азота
3	0,38	красный	сильное угнетение	Поражение корневыми гнилями, переувлажнение в мае

При сравнении с эталонными кривыми NDVI для озимой пшеницы по данным Мордовского НИИСХ выявлены отклонения. Падение индекса более чем на 15% за неделю – явный сигнал стресса.

Рекомендации:

- поле №2 – внести азотные удобрения (30 кг/га);
- поле №3 – обработать фунгицидами.

Пример из практики. В 2023 году в Кочкуровском районе Мордовии автоматический расчет NDVI позволил:

- обнаружить 120 га озимой пшеницы с $NDVI < 0,4$ в фазе кущения (май);
- выяснить причину – неравномерное распределение осадков;
- организовать локальное орошение на этих участках;
- сохранить урожайность на уровне 4,8 т/га (против прогнозируемых 3,5 т/га без вмешательства).

Экономический эффект – снижение потерь на 27%, окупаемость инвестиций в ДЗЗ – 180%.

Опыт показывает: внедрение инноваций в агромониторинг открывает новые возможности для комплексной оценки угодий. Сочетание спутниковых данных с ГИС-технологиями создает надежную базу для точного земледелия и устойчивого управления агроландшафтами. А использование спектральных индексов вместе с нейросетевыми алгоритмами позволяет автоматически находить аномалии в развитии растений и отслеживать их динамику в реальном времени.

Список литературы:

1.Беляева А.В., Тесленок С.А., Печнов В.И. ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УПРАВЛЕНИИ АГРОПРОМЫШЛЕННЫМ КОМПЛЕКСОМ РЕСПУБЛИКИ МОРДОВИЯ // Успехи современного естествознания. 2021. № 2. С. 76-81; URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=37577> (дата обращения: 04.04.2026). DOI: <https://doi.org/10.17513/use.37577>

2. Зверев А.Т., Фисенко Е.В., Савин И.Ю. КОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ АГРОФИТОЦЕНОЗОВ // Современные наукоемкие технологии. 2013. № 8-1. С.14-18;URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=32384> (дата обращения: 03.04.2026).

3. Каверин А. В. Агрогеографическое изучение земельных ресурсов Рузаевского района Республики Мордовия в целях оптимизации управления сельскохозяйственным производством [Электронный ресурс] / А. В. Каверин, А. В. Алферина, Ю. А. Бычкова // Современные проблемы территориального развития: электрон. журн. – 2020. – № 1.

Информация об авторах:

Кудрявцев Михаил Анатольевич, аспирант 2 курса, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва», г. Саранск. 430005, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Большевистская, д. 68. kudryavtsev.mihael@yandex.ru