

К. Н. Дубровин^{1✉}, Л. В. Илларионова¹, Е. А. Фомина¹

Усовершенствование системы мониторинга пахотных земель Хабаровского края с использованием спутниковых мультиспектральных данных

¹Вычислительный центр ДВО РАН, г. Хабаровск, Российская Федерация
e-mail: nob_keeper_93@mail.ru

Аннотация. Осуществление мониторинга пахотных земель в Хабаровском крае является важнейшей задачей для развития региона. Использование данных дистанционного зондирования Земли из космоса позволяет эффективно решать эту задачу. В данной работе в целях усовершенствования системы мониторинга предложено использовать значения временных рядов отражательной способности в инфракрасном спектре (каналы B5, B7, B11 спутников Sentinel-2) для разделения посевов кукурузы от посевов сои. При исследовании отражательной способности посевов в Хабаровском крае в 2025 году выявлено, что значения отражательной способности для посевов сои в первой половине июля и конце августа-начале сентября (для всех трех каналов) оказались значимо выше, чем у посевов кукурузы. Полученные результаты могут быть в дальнейшем использованы для построения эффективного классификатора, встроенного в общую систему мониторинга пахотных земель Хабаровского края.

Ключевые слова: сельскохозяйственный мониторинг, дистанционное зондирование Земли, машинное обучение, мультиспектральные данные

K. N. Dubrovin^{1✉}, L. V. Illarionova¹, E. A. Fomina¹

Improving the cropland monitoring system in Khabarovsk Krai using satellite multispectral data

¹Computing Center FEB RAS, Khabarovsk, Russian Federation
e-mail: nob_keeper_93@mail.ru

Abstract. Cropland monitoring in Khabarovsk Krai is a critical task for the region's development. Using remote sensing data allows for an effective solution. In this study, we propose using infrared reflectivity time series (B5, B7, and B11 bands of the Sentinel-2 satellites) to distinguish corn from soybean crops to improve the monitoring system. A study of crop reflectivity in Khabarovsk Krai in 2025 revealed that reflectivity values for soybean crops in the first half of July and late August-early September (for all three bands) were significantly higher than those for corn crops. These results can be further used to develop an effective classifier integrated into the cropland monitoring system of Khabarovsk Krai.

Keywords: agricultural monitoring, remote sensing, machine learning, multispectral data

Введение

Мониторинг земель сельскохозяйственного назначения представляет собой систему оперативных, периодических и базовых (исходных) наблюдений за изменением качественного и количественного состояния земель сельскохозяйственного назначения [1]. Важнейшей задачей является картографирование

пахотных земель – выявление посевов сельскохозяйственных культур (с оценкой их состояния), обнаружение неиспользуемых участков, постоянное ведение статистики по посевным площадям и площади неиспользуемой пашни. Для снижения затрат и повышения оперативности получения данных при решении задач сельскохозяйственного мониторинга активно применяются методы дистанционного зондирования Земли из космоса (ДЗЗ) [2,3].

Ранее в Хабаровском Федеральном исследовательском центре ДВО РАН была предложена методика мониторинга пахотных земель, включающая в себя построение достоверных карт пахотных земель [4]. Разработанная схема картографирования включает в себя получение спутниковых данных и данных наземных наблюдений, расчет значений индекса NDVI, построение непрерывных временных рядов индекса NDVI, решение задачи классификации с использованием методов машинного обучения, построение карт-схем пахотных земель. Данная схема использовалась для распознавания посевов и неиспользуемой пашни, построения карт-схем в Хабаровском крае в 2021-2023 годах [5]. Общая точность классификации составила 96–97 %. Метод позволил достигнуть высокой достоверности картографирования посевов сои (98 %), зерновых культур (96–97 %), гречихи (94–96 %), многолетних трав (94 %), а также неиспользуемой пашни (94–99 %). В то же время возникли проблемы с точностью распознавания посевов кукурузы (65–75 %). Временные ряды NDVI для посевов сои и кукурузы имели схожий вид и, так как в структуре посевных площадей в Хабаровском крае соя является доминирующей культурой, большое количество временных рядов класса «кукуруза» попали в класс «соя». Подобные ошибки распознавания могут приводить к снижению достоверности картографирования, особенно в регионах со значительными посевными площадями кукурузы.

Разделение посевов сои и кукурузы ввиду схожести сроков сева и наступления фенологических фаз является непростой задачей. Применению спутниковых мультиспектральных данных для решения этой задачи посвящен ряд исследований. Анализ научных работ показал, что в большей части из них используются значения отражательной способности в красном крайнем (Red Edge) [6,7], ближнем инфракрасном (NIR) [8] и коротковолновом инфракрасном (SWIR) диапазоне [9]. Результатом этих работ являются рекомендации по использованию конкретных каналов спутниковых снимков и периодов наблюдения.

Работа посвящена исследованию возможности применения значений отражательной способности в инфракрасных спектральных каналах для решения задачи разделения посевов кукурузы и сои. В рамках исследования производится анализ сезонного хода отражательной способности, выбор сочетаний диапазонов съемки и периодов наблюдения для решения поставленной задачи.

Методы и материалы

Областью исследования являлась южная часть Хабаровского края. На территории Хабаровского района и района имени Лазо в 2025 году с использованием ранее предложенной методики распознавания посевов с использованием данных ДЗЗ были определены поля с посевами сои и кукурузы. Для валидации информации и

разделения полей на два класса – «соя» и «кукуруза» использовались сведения о севообороте, полученные из системы ЕФГИС ЗСН [10], внесенные сельскохозяйственными производителями. Выборка включала в себя 295 полей с посевами сои (общей площадью 6290 га) и 20 полей с посевами кукурузы (общей площадью 571 га). Несбалансированность количества полей в классах вызвана крайней неравномерностью посевных площадей культур в регионе (согласно сведениям Росстата [11], посевы сои занимали 60 % пашни в Хабаровском крае, а посевы кукурузы только 4 %).

Для области исследования из спутникового архива ХФИЦ ДВО РАН были загружены 36 спутниковых снимков Sentinel-2 уровня обработки L2A в период с начала мая по конец октября 2025 г. С использованием авторского программного обеспечения были построены непрерывные временные ряды (с шагом 7 дней) отражательной способности в каналах B5 (Vegetation Red Edge, средняя длина волны 705 нм), B7 (Vegetation Red Edge, средняя длина волны 783 нм) и B11 (SWIR, средняя длина волны 1610 нм) с пространственным разрешением 20 метров на пиксель. Для восстановления непрерывности временных рядов (устранения влияния облачности) производилась интерполяция недостающих значений с применением кубических сплайнов. Для каждого полигона вычислялись средние значения для каждой недели. Для сравнения и выявления значимости различий между отражательными способностями посевов в классах «соя» и «кукуруза» применялся непараметрический критерий Манна-Уитни ($p=0,05$).

Результаты

На рисунках 1–3 приведены усредненные временные ряды отражательной способности в исследуемых диапазонах для посевов сои и кукурузы.

Оба временных ряда для канала B5 имеют несколько пиков (для посевов кукурузы частота колебаний выше). При этом в районе максимума вегетации (в августе, 212–240 дни) наблюдается снижение отражательной способности. Значимые различия выявлены в период с 191 по 205 день (вторая-третья декада июля), что соответствует фазе цветения, в это время отражательная способность сои значимо выше. Другим важным периодом для идентификации посевов, когда отражательная способность значимо выше, является первая-вторая декады сентября (247–261 дни) – период после созревания сои и время уборки кукурузы.

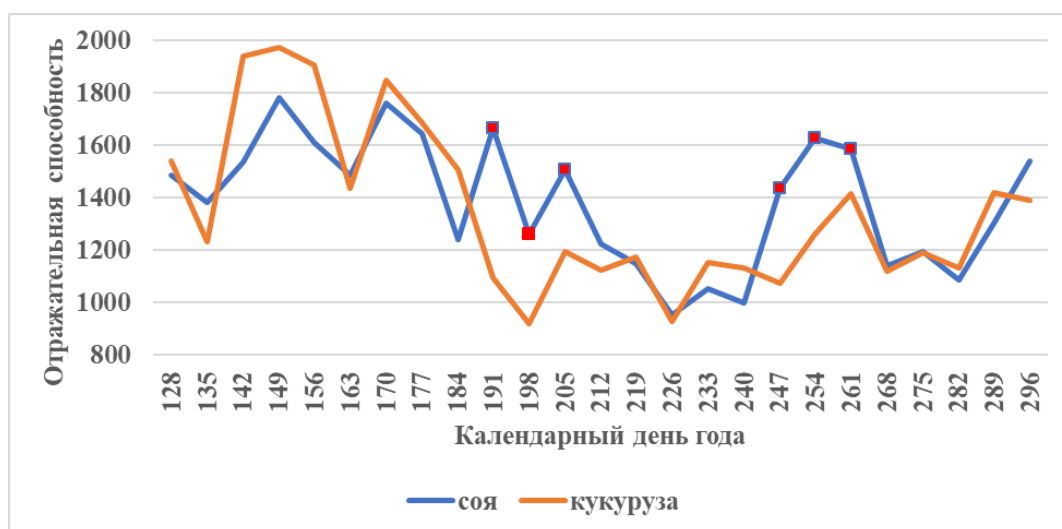


Рис. 1. Усредненные графики сезонного хода отражательной способности для посевов сои и кукурузы (канал B5), красными маркерами указаны значимо более высокие значения ($p < 0,05$).

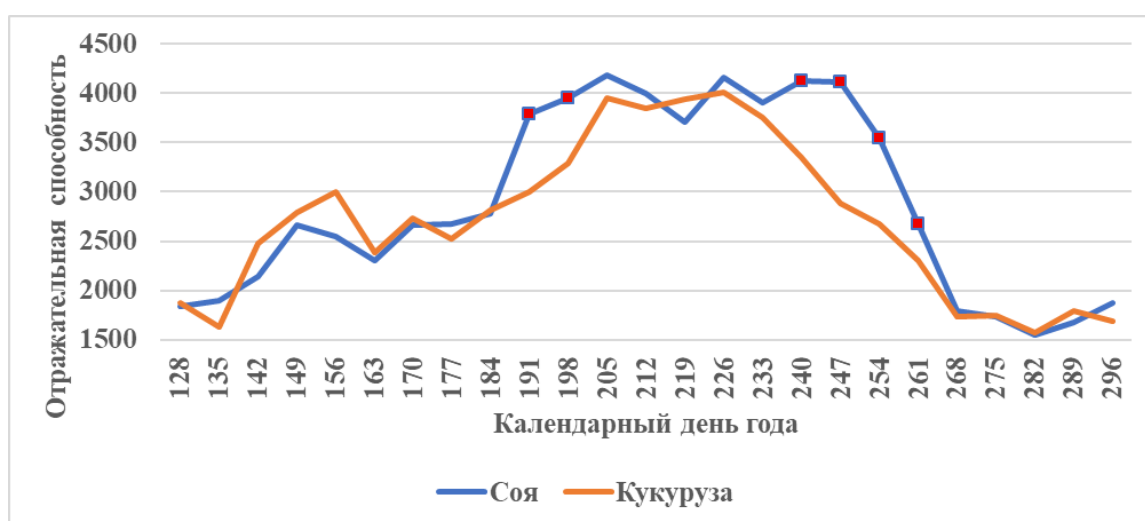


Рис. 2. Усредненные графики сезонного хода отражательной способности для посевов сои и кукурузы (канал B7), красными маркерами указаны значимо более высокие значения ($p < 0,05$).

Отражательная способность посевов в канале B7 растет к максимуму вегетации культур (до 4000 для посевов кукурузы и 4200 для посевов сои), а затем снижается после его прохождения. В период после уборки кукурузы и потери биомассы у сои отражательная способность снижается до 1500–1800. В период с 191 по 198 календарный день (первая декада июля) и с 240 по 261 день (конец августа–вторая декада сентября) отражательная способность посевов сои значимо выше (на 600–1200). Первый период соответствует фазе ветвления у сои и фазе 6-7 листьев у кукурузы. Вторым периодом приходится на время, в которое осуществляется уборка кукурузы.

Графики временных рядов для посевов сои и кукурузы в SWIR-диапазоне имеют схожие тенденции – отражательная способность достигает максимума уже в конце мая – начале июня (149-156 календарные дни), то есть в начале вегетативного роста посевов, второй максимум достигается во второй половине июня (170-179 день года). В период вегетативного роста происходит снижения отражательной способности, при этом графики идут практически параллельно. На протяжении июля и августа (с 184 по 247 день года) отражательная способность посевов сои (варьируется от 2181 до 2938) значительно выше по сравнению с посевами кукурузы (варьируется от 1941 до 2529).

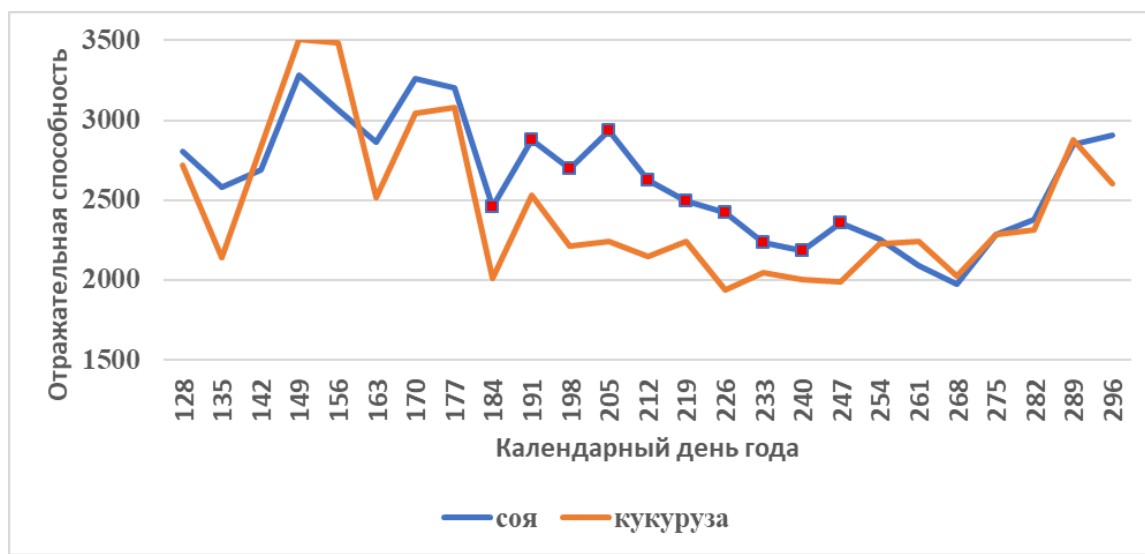


Рис. 3. Усредненные графики сезонного хода отражательной способности для посевов сои и кукурузы (канал B11), красными маркерами указаны значимо более высокие значения ($p < 0,05$).

Заключение

Использование данных дистанционного зондирования Земли и методов машинного обучения позволяет эффективно осуществлять мониторинг пахотных земель. Однако применения одного вегетационного индекса NDVI может быть недостаточно для четкой идентификации посевов некоторых сельскохозяйственных культур. Проведенный в 2025 году статистический анализ сезонного хода отражательной способности (в каналах B5, B7, B11 спутника Sentinel-2) участков с посевами сои и кукурузы в Хабаровском крае позволил выявить периоды наиболее подходящие периоды для распознавания этих культур. В первой половине июля (вегетативный рост, ветвление-начало цветения) и конец августа–начало сентября (после достижения зрелости и вегетативного роста) значения отражательной способности для посевов сои во всех трех каналах оказались значимо выше, чем у посевов кукурузы.

Полученные результаты могут использоваться для разработки дополнительного классификатора, разделяющего посевы сои от посевов кукурузы, встраиваемого в общую систему мониторинга пахотных земель Хабаровского края. В то же

время, в дальнейшем для проверки результатов исследования планируется проведение многолетних исследований для оценки межгодовой вариации отражательной способности, анализ других диапазонов и производных индексов.

Благодарности

Исследование выполнено при поддержке РНФ (проект № 24-11-20030) и Правительства Хабаровского края (Соглашение № 106С/2024 от 31.07.2024).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Об утверждении Порядка осуществления государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения: Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 24.12.2015 № 664: (с изм. на 19.06.2024) [Электронный ресурс] // Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс» (дата обращения: 22.04.2026).
2. Якушев, В.П. Роль дистанционного зондирования Земли в точном земледелии [Текст] / В. П. Якушев, В. В. Якушев, С. Ю. Блохина [и др.] // Вестник Российской академии наук. – 2023. – Т. 93, № 10. – С. 955-969. – DOI 10.31857/S0869587323100110.
3. Трошко, К.А. Особенности развития сельскохозяйственных культур в России в 2025 году на основе данных дистанционного мониторинга [Текст] / К. А. Трошко, П. В. Денисов, Е. А. Дунаева [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2025. – Т. 22, № 5. – С. 449-458. – DOI 10.21046/2070-7401-2025-22-5-449-456.
4. Дубровин, К. Н. Разработка методики мониторинга пахотных земель Дальнего Востока на основе данных дистанционного зондирования Земли и машинного обучения [Текст]: диссертация ... кандидата технических наук: 1.6.19 / Дубровин Константин Николаевич; [Место защиты: Сибирский государственный университет геосистем и технологий]. – Новосибирск, 2025. – 148 с.
5. Дубровин, К.Н. Использование методов дистанционного зондирования Земли и машинного обучения для мониторинга пахотных земель Дальнего Востока [Текст] / К. Н. Дубровин, А. Н. Фролов, Д. А. Батяев, Т. Н. Федорова // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2024. – Т. 4, № 1. – С. 20-25. – DOI 10.33764/2618-981X-2024-4-1-20-25.
6. Liu, N. Ensemble modelling based on transfer learning for enhancing crop mapping through synergistic integration of InSAR coherence and multispectral satellite data [Text] / N. Liu, Q. Zhao, R. Williams [et al.] // Computers and Electronics in Agriculture. – 2026. – Vol. 242. – P. 111332. – DOI 10.1016/j.compag.2025.111332.
7. You, N. Examining earliest identifiable timing of crops using all available Sentinel 1/2 imagery and Google Earth Engine [Text] / N. You, J. Dong // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2020. – Vol. 161. – P. 109-123.
8. Song, X.P. National-scale soybean mapping and area estimation in the United States using medium resolution satellite imagery and field survey [Text] / X.P. Song, P.V. Potapov, A. Krylov [et al.] // Remote Sensing of Environment. – 2017. – P. 383–395.
9. Cai, Y.P. A high-performance and in-season classification system of field-level crop types using timeseries Landsat data and a machine learning approach / Y.P. Cai, K.Y. Guan, J.Peng // Remote Sensing of Environment. – 2018. – Vol. 210. – P. 35–47.
10. Единая федеральная государственная информационная система о землях сельскохозяйственного назначения [сайт]. – URL: <https://efis.mcx.ru/landing> (дата обращения: 10.04.2026).
11. База данных показателей муниципальных образований [сайт]. – URL: <https://rosstat.gov.ru/dbscripts/munst> (дата обращения: 10.04.2026).

© К. Н. Дубровин, Л. В. Илларинова, Е. А. Фомина, 2026