

А. С. Степанов¹✉, Е. А. Фомина^{1,2}, А. А. Холодков¹

Изучение состояния посевов сои юга Дальнего Востока по данным дистанционного и наземного мониторинга

¹Дальневосточный научно-исследовательский институт сельского хозяйства, с. Восточное, Хабаровский край, Российская Федерация

²Вычислительный центр ДВО РАН, г. Хабаровск, Российская Федерация
e-mail: stepanfx@mail.ru

Аннотация. Соя является основной культурой Дальнего Востока. При организации системы точного земледелия состояние посевов сои в ходе вегетационного сезона изучается с помощью дистанционного зондирования. В работе представлены основные характеристики временных рядов NDVI посевов сои отдельных полей Хабаровского края и Еврейской автономной области, сформированных по результатам ежемесячной съемки DJI Mavic3M в вегетационном сезоне 2024. Календарный день наступления максимума NDVI находился в диапазоне от 220 до 231, средние значения максимума от 0,87 до 0,95. Внутриполевая вариабельность этих показателей находилась в пределах 10 %. По результатам проведенного агрохимического анализа отобранных почвенных образцов было установлено, что содержание подвижного калия, фосфора, аммонийного азота и pH соответствовали тяжелосуглинистым слабо-кислым почвам с низким плодородием. Были выявлены корреляционные связи между значениями NDVI, влажностью и содержанием калия.

Ключевые слова: мониторинг, соя, Дальний Восток, дистанционное зондирование

A. S. Stepanov¹✉, E. A. Fomina^{1,2}, A. A. Kholodkov¹

Study of soybean crops in the south of The Far East Based on remote and ground monitoring data

¹Far-Eastern Agriculture Research Institute, Vostochnoe, Khabarovskii krai, Russian Federation

²Computing Center FEB RAS, Khabarovsk, Russian Federation
e-mail: stepanfx@mail.ru

Abstract. Soybeans are the main crop of the Far East. When organizing a precision farming system, the condition of soybean crops during the growing season is studied using remote sensing. The paper presents the main characteristics of the NDVI time series of soybean crops in individual fields of the Khabarovsk Territory and the Jewish Autonomous Region, formed based on the results of the monthly DJI Mavic3M survey in the 2024 growing season. The calendar day of the NDVI maximum was in the range from 220 to 231, with average maximum values from 0,87 to 0,95. The intrafield variability of these parameters was within 10 %. According to the results of the agrochemical analysis of the selected soil samples, it was found that the content of mobile potassium, phosphorus, ammonium nitrogen and pH corresponded to heavy loamy slightly acidic soils with low fertility. Correlations were found between NDVI values, humidity, and potassium content.

Keywords: monitoring, soybean, Far East, remote sensing

Введение

Соя является одной из ключевых мировых сельскохозяйственных культур, в последнее время уделяется большое внимание развитию методов оценки состо-

яния посевов, исследованию продуктивности полей для получения высоких урожаев сои и обеспечения качества продукции [1, 2]. Дальневосточные регионы России, в том числе Еврейская автономная область (ЕАО) и Хабаровский край традиционно входят в число территорий, где соя является основной возделываемой культурой, площади посевов сои в 2024 г. по данным Росстата занимали более 88 % пахотных земель ЕАО и 58 % пахотных земель Хабаровского края [3].

Организация системы точного земледелия подразумевает исследование внутривидовой и межвидовой вариативности посевов сельскохозяйственных культур с использованием современных методов информационного обеспечения, в том числе на основе данных дистанционного зондирования Земли, полученных со спутников и БПЛА [4]. Использование БПЛА, несмотря на более высокие затраты в сравнении со спутниковыми данными, является оправданным при изучении неоднородностей полей малого размера, отсутствия спутниковых снимков из-за облачности, и ряда других причин. Для прогнозирования потенциальной урожайности сои с помощью БПЛА проводится мониторинг показателей фотосинтетической деятельности (оценка значений индексов вегетации, полученных в результате обработки данных аэрофотосъемки) [5]. Проведенные ранее исследования показали, что показатели продуктивности сои и характеристики почвы коррелируют между собой [6], при этом определенное преимущество при сравнительном исследовании состояния посевов сои представляют регулярные спутниковые данные и сформированные на их базе временные ряды значений NDVI.

Цель настоящего исследования – подготовка и построение временных рядов NDVI по данным аэрофотосъемки 2024 г. для отдельных полей сои Хабаровского края и ЕАО, оценка основных характеристик временных рядов, отбор почвенных образцов на полях и определение агрохимических показателей.

Методы и материалы

Исследование проводилось в Хабаровском районе Хабаровского края, Сидовичском районе Еврейской автономной области. Для четырех полей с соей произведена шестикратная аэрофотосъемка БПЛА DJI Mavic3M в мае, июне, июле, августе, сентябре и октябре 2024. Для каждого пикселя были сформированы временные ряды значений NDVI (для аппроксимации применялась двойная логистическая функция).

В конце мая 2024 г. (до сева и внесения удобрения в почву) и в конце октября 2024 г. (после уборки) на опытных полях был произведен отбор почвенных проб и проведен агрохимический анализ. Определялись следующие показатели: влажность, рН, содержание подвижного калия и фосфора, аммонийного азота.

Результаты

Как видно из рисунка 1, аппроксимированные кривые сезонного хода NDVI для трех полей имели практически схожую форму, календарные дни максимума NDVI и численные значения максимума. Отличие поля Соя1 ЕАО обусловлено тем, что оно было впервые введено в оборот после длительного периода. Вари-

абельность значений NDVI на этом поле также превышала вариабельность на других полях практически в течении всего вегетационного сезона (рис. 2). Минимальные значения коэффициентов вариации временных рядов NDVI приходидись на соответствующие $NDVI_{max}$ календарные дни. Высокие значения коэффициентов вариации в начале и конце сезона обусловлены неравномерностью всходов и созревания сои.

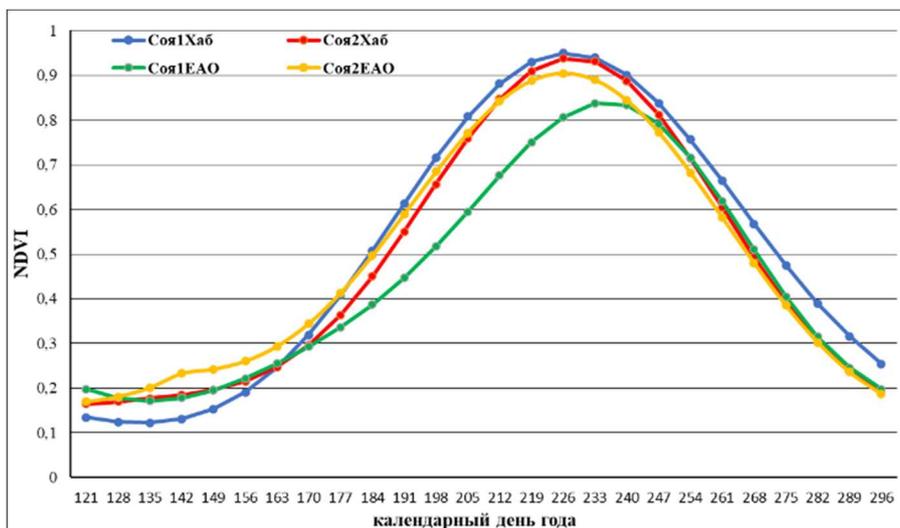


Рис. 1. Аппроксимированные временные ряды значений NDVI (DJI Mavic3M, 2024 г.) для полей с посевами сои ЕАО и Хаб. края

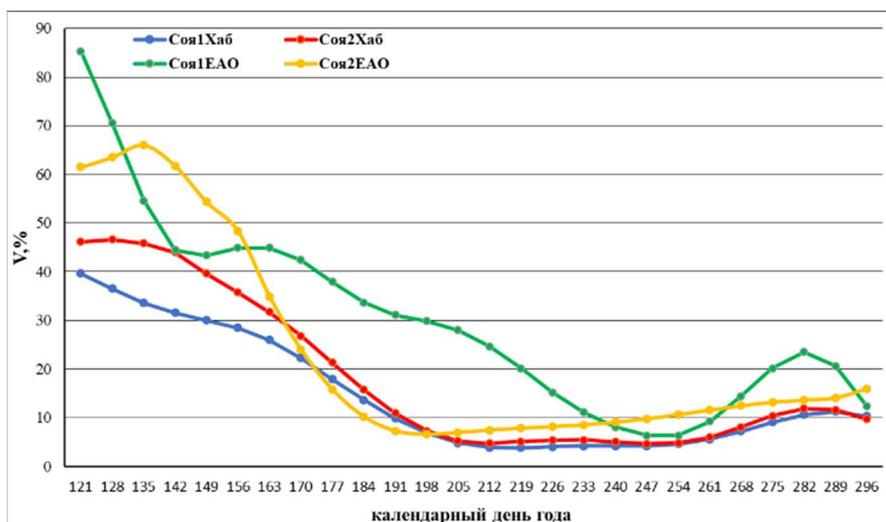


Рис. 2. Вариабельность значений NDVI (DJI Mavic3M, 2024 г.) для полей с посевами сои ЕАО и Хаб. края

Как следует из таблицы 1, значения максимума NDVI на полях Хабаровского края и Соя2 ЕАО находидись в диапазоне 0,92-0,95, а для поля Соя1 – 0,87. Коэффициент вариации максимума NDVI выше на полях ЕАО.

Основные характеристики временных рядов NDVI изучаемых полей с посевами сои (DJI Mavic3M, 2024 г.)

Характеристики	Наименование поля			
	Соя1Хаб	Соя2Хаб	Соя1ЕАО	Соя2ЕАО
$\overline{NDVI_{max}} \pm \Delta \overline{NDVI_{max}}$	0,95±0,01	0,94±0,01	0,87±0,04	0,92±0,01
VAR_{NDVI}	3,1	4,5	8,2	10,2
$\overline{DOY_{max}} \pm \Delta \overline{DOY_{max}}$	220,8±0,1	225,8±0,1	233,1±0,2	219,7±0,2
VAR_{DOY}	2,5	4,4	5,3	10,5

На рисунке 3 представлена диаграмма размаха значений максимума временных рядов NDVI для исследуемых полей с соей. Как видно, наибольший разброс характерен для поля Соя1 ЕАО – от 0,82 до 0,91.

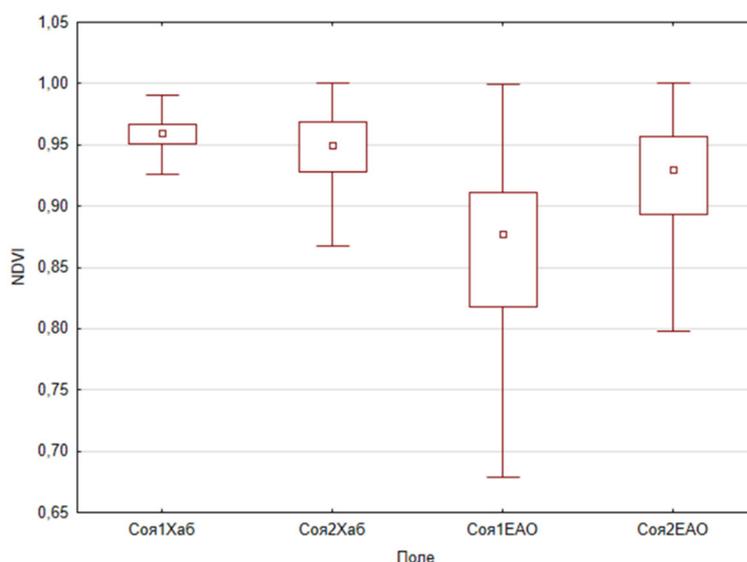


Рис. 3. Диаграмма размаха значений максимума временных рядов NDVI (DJI Mavic3M, 2024 г.) для пикселей полей с посевами сои ЕАО и Хаб. края

Содержание N-NO₃, а также подвижных форм P₂O₅ и K₂O в начале сезона находилось в интервале от 2,5 до 3,3 мг/кг, от 2,1 до 4,5 мг/100г, и 3,36–10,3 мг/100г соответственно. К октябрю увеличилось содержание аммонийного азота до 3,4–4,7 мг/100г в Хабаровском крае и ЕАО, а содержание подвижного калия снизилось. В среднем, значения этих показателей соответствовали лугово-бурным тяжелосуглинистым почвам с низким плодородием. Влажность почв с посевами сои в ЕАО в течении всего сезона была стабильно выше – 24,1 % – 29,3 %, в то время как в Хабаровском крае влажность изученных полей не превышала 22 %. Кислотность почвы соответствовала кислым и слабо-кислым почвам – на полях Хабаровского края рН принадлежало интервалу 4,1–5,0; на полях ЕАО – 4,5–5,4.

Были выявлены корреляционные связи между значениями NDVI, влажностью и содержанием калия.

Заключение

Аппроксимированные кривые сезонного хода значений NDVI, построенные по данным шестикратной БПЛА съемки полей с соей в ходе одного вегетационного сезона, имеют характерную форму, соответствующую основным фазам развития сои, устойчивый максимум в период 220–233 календарный день года. Аппроксимированные временные ряды могут служить для оценки неоднородностей развития посевов по окончании сезона для планирования мероприятий по их устранению.

Полученные результаты по оценке пространственных и временных распределений показателей продуктивности (NDVI), подвижных форм калия и фосфора, влажности и кислотности подготовили основу для проведения дальнейших исследований, связанных с построением математических моделей управления почвенными ресурсами для повышения эффективности соевого производства Дальнего Востока.

Благодарности

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ, проект № 2376-00007 на тему «Разработка научных методов и подходов устойчивого управления почвенными ресурсами на основе технологий дистанционного зондирования Земли (на примере юга Дальнего Востока)».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Синеговская, В. Т. Научное обеспечение эффективного развития селекции и семеноводства сои на Дальнем Востоке [Текст] / В. Т. Синеговская // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2021. – Т. 25. – №. 4. – С. 374–380.
2. Martignone, G. The rise of Soybean in international commodity markets: A quantile investigation [Text] / G. Martignone, B. Ghosh, D. Papadas, K. Behrendt // Heliyon. – 2024. – Vol. 10. – 469–489.
3. Федеральная служба государственной статистики (РОССТАТ). Посевные площади Российской Федерации в 2024 году [Электронный ресурс] Официальный сайт. – Режим доступа: http://ssl.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/posev-4cx_2024.xlsx.
4. Загоруйко, М. Г. Мониторинг показателей фотосинтетической деятельности и его использование для прогнозирования потенциальной урожайности сои [Текст] / М. Г. Загоруйко, М. Е. Бельшкينا, Р. К. Курбанов, Н. И. Захарова // Аграрный научный журнал. – 2021. – № 12. – С. 9–12.
5. Якушев В. П. Точное земледелие: теория и практика. – СПб. : ФГБНУ АФИ, 2016. – 364 с.
6. Степанов, А. С., Исследование внутривидовых неоднородностей развития посевов сои по данным ДЗЗ и свойствам пахотного горизонта (на примере юга Дальнего Востока) / А. С. Степанов, Г. В. Харитоновна, Т. А. Асеева и др. // Российская сельскохозяйственная наука. – 2024. – № 4. – С. 8–13.

© А. С. Степанов, Е. А. Фомина, А. А. Холодков, 2025