

ОЦЕНКА НЕОДНОРОДНОСТЕЙ РАЗВИТИЯ ПОСЕВОВ СЕЛЬХОЗКУЛЬТУР ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДЗЗ

А. С. Степанов¹, Г. В. Харитонов², К. Н. Дубровин³

¹Дальневосточный научно-исследовательский институт сельского хозяйства,
г. Хабаровск, Россия
stepanfx@mail.ru

²Институт водных и экологических проблем
Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Хабаровск, Россия
gkharitonova@mail.ru

³Вычислительный центр Дальневосточного отделения Российской академии наук,
г. Хабаровск, Россия
nobforward@gmail.com

АННОТАЦИЯ. Оценка неоднородности посевов с использованием данных ДЗЗ является актуальной задачей цифрового земледелия. Установлено, что временные ряды значений NDVI могут быть использованы для оценки неоднородности посевов сои, гречихи и прочих культур на уровне района. По степени засоренности полей Хабаровского района сорными культурами были сформированы три кластера. Проведена сравнительная оценка неоднородности развития посевов в рамках одного поля с использованием данных БПЛА и спутника Sentinel-2.

Ключевые слова: спутниковый мониторинг, БПЛА, дистанционное зондирование, неоднородность, пахотные земли.

В настоящее время современные методы и технологии ДЗЗ составляют основу систем мониторинга сельскохозяйственных культур. При этом важнейшей задачей в рамках развития точного и цифрового земледелия является оценка неоднородности развития посевов [1]. Пространственная неоднородность, обусловленная разными факторами – генетическими особенностями сорта, вида; параметрами плодородия почвы; распределение влаги и солнечной радиации и др. – может рассматриваться как в пределах одного поля, так и более широко, на районном и региональном уровне [2]. В российской науке исследования в области изучения физиологического состояния посевов в зависимости от значений оптических индексов вегетации проводились в Агрофизическом научно-исследовательском институте [3,4]. Определение свойств почв и оценки ресурсного потенциала земель проводилось в Почвенном институте им. В.В. Докучаева [5]. Было установлено, что непосредственное влияние на спектральную отражательную способность почв оказывают такие свой-

ства, как содержание органического вещества, влажность, гранулометрический состав и т.д., что непосредственно оказывает влияние на состояние посевов, и в, конечном счете, на урожайность [6]. Вопросам оценки неоднородности и засоренности полей с использованием оптических наземных и спутниковых спектральных данных спутников серии Dove (PlanetScope) с пространственным разрешением 3 м посвящены работы, выполненные в ФИЦ КНЦ СО РАН [7]. Вместе с тем, чаще всего для оценки неоднородности посевов используются значения оптических индексов вегетации, полученные при помощи БПЛА [8,9].

Изучение изменчивости и неоднородности состояния посевов с помощью данных ДЗЗ на Дальнем Востоке как комплексная задача ранее не рассматривалась, хотя географические и климатические особенности региона, невысокий уровень цифровизации сельского хозяйства делают эту задачу весьма актуальной. Таким образом, в качестве основной цели работы рассматривалась оценка возможности применения данных спутникового мониторинга для изучения

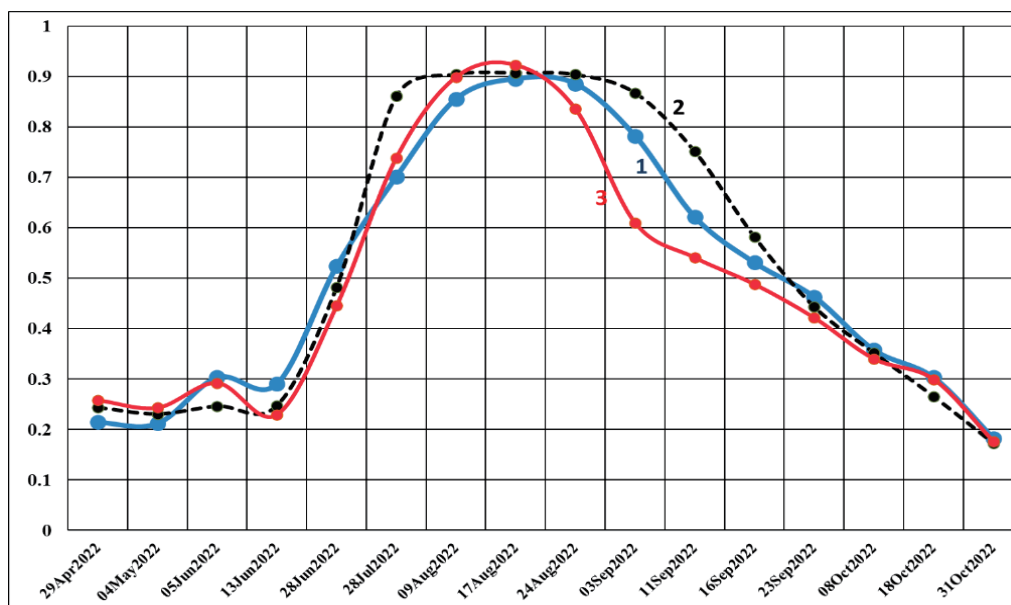


Рисунок 1. Сезонный ход NDVI на полях с соей в Хабаровском районе (2022, Sentinel-2): 1-среднестатистическое поле, 2-поле с высокой степенью засоренности, 3-поле с низкой степенью засоренности

неоднородности посевов сельхозкультур как на уровне района, так и в пределах одного поля. Для достижения поставленной цели были получены мультиспектральные снимки Sentinel-2 с разрешением 10 м для Хабаровского района Хабаровского края в вегетационные периоды с 2021 по 2023 гг. Для каждого пикселя рассчитывались значения временных рядов NDVI, затем для отдельных полей с севооборотом сои, кукурузы, многолетних трав, овса, ячменя и других культур, а также залежных земель определялись средние значения NDVI и строились соответствующие ряды. Всего были обработаны данные по 182, 526, 618 полям Хабаровского района соответственно в 2021, 2022, 2023 гг.

Были построены графики сезонного хода NDVI, характерные для каждой культуры, определены показатели – день наступления максимума, величина максимума, и их вариабельность. Анализ отклонений значений ряда NDVI отдельного поля от среднего для рассматриваемого года по этой культуре использовался для оценки неоднородности развития посевов Хабаровского района. В качестве примера на рисунке 1 представлены графики сезонного хода NDVI для полей с соей в Хабаровском районе в 2022 г.

Кривая сезонного хода NDVI для поля с высокой степенью засоренности сорняками имеет растянутый во времени максимум – с по-

следней декады июля до 1-й декады сентября, что характерно для залежи. В качестве меры близости или различия между двумя кривыми использовалось евклидово расстояние (в приведенном примере $d1-2=0,17$, $d2-3=0,11$), эта же мера использовалась в качестве параметра при проведении кластерного анализа (рис. 2).

Аналогичным образом изучалась неоднородность полей Хабаровского района, занятых другими культурами, в 2021–2023 гг.

Для двух опытных полей с соей в 2023 г проводилась съемка с использованием БПЛА DJI Mavic3, также проводился трехкратный отбор почвенных образцов (май, июль, октябрь 2023 г.). На рисунке 3 представлены вариограммы NDVI для одного из полей (изображения со спутника и БПЛА получены в августе 2023 г.).

Было установлено, что предельное расстояние при использовании спутниковых изображений составляло около 100 м, а аэрофотосъемки – около 5 м. Почвенные пробы на отдельных полях были отобраны на расстоянии, превышающем 100 м. Проведенный анализ почвенных образцов позволил выявить внутриполевые неоднородности полей с соей по агрохимическим характеристикам, микробиологическому составу и содержанию микроэлементов. Выявлены корреляционные связи между содержанием общего фосфора, подвижного фосфора, калия и значениями

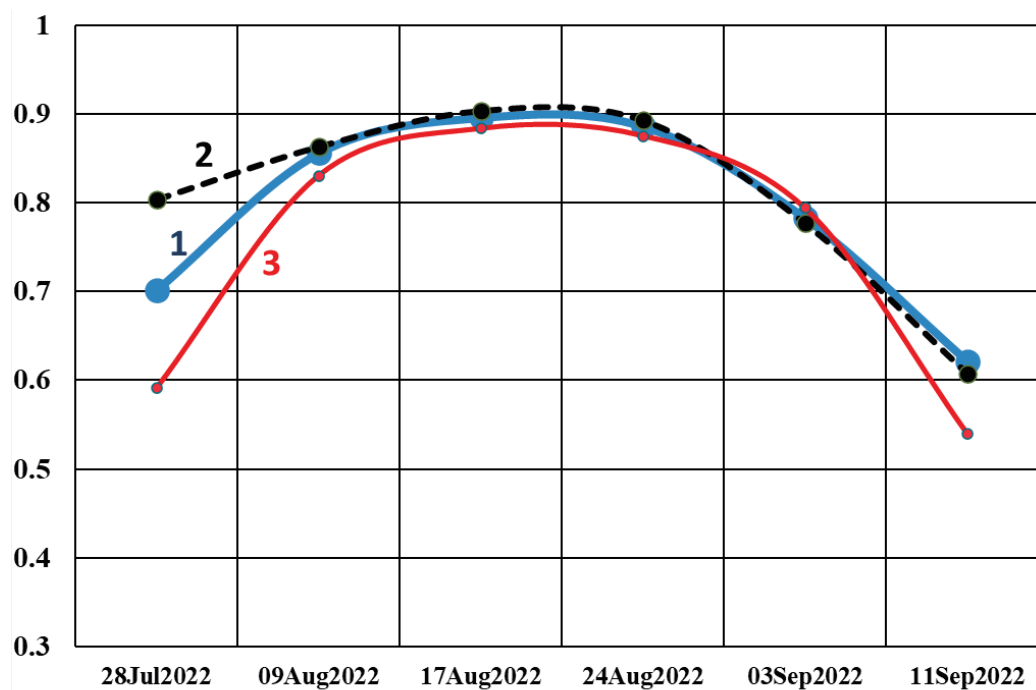


Рисунок 2. Результаты кластерного анализа: 1-среднестатистическое поле, 2-средние значения NDVI в кластере «засоренные поля», 3-средние значения NDVI в кластере «слабо засоренные или незасоренные поля»

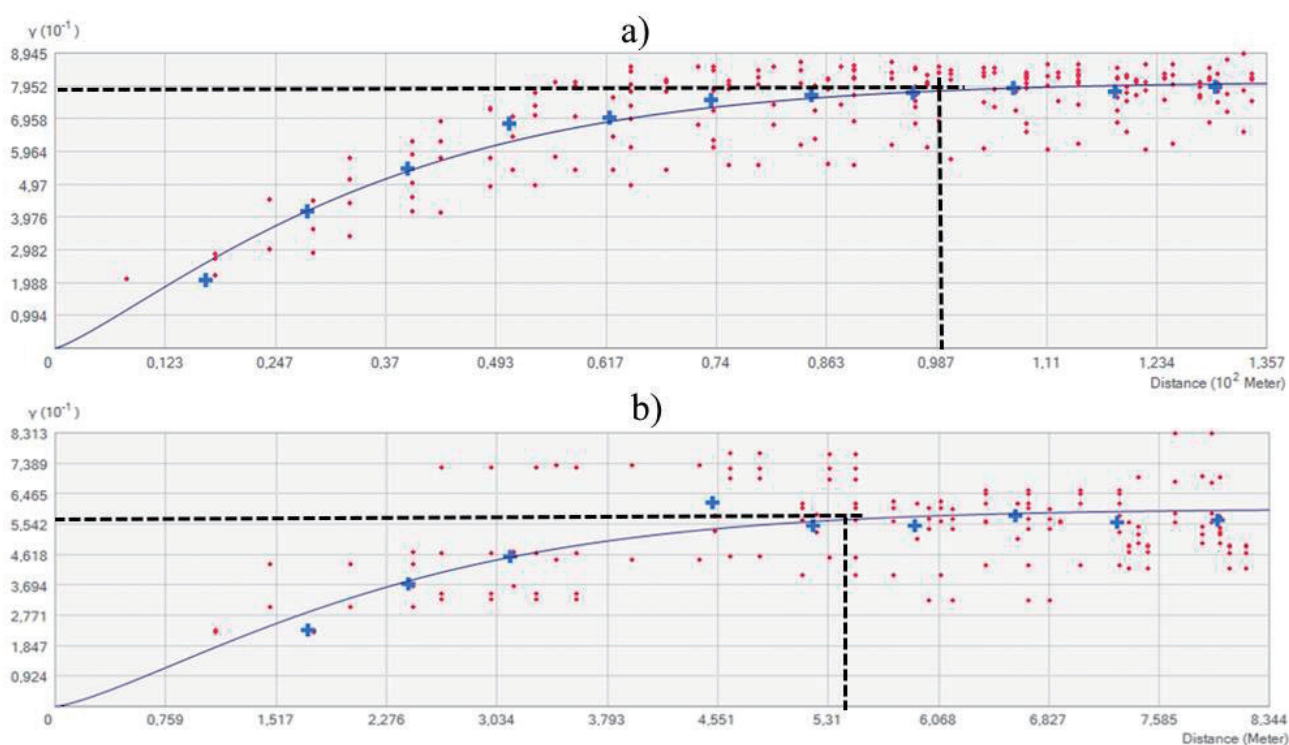


Рисунок 3. Вариограммы NDVI поля с соей: а) Sentinel-2; б) DJI Mavic3

NDVI, полученными в результате обработки спутниковых и БПЛА изображений.

Дальнейшее исследование показало, что оценка внутриполевых неоднородностей посевов может быть проведена с достаточной точностью с использованием данных Sentinel-2 разрешимостью 10 м, что позволяет избежать трудозатратных операций, связанных с

проведением аэрофотосъемки и обработки изображений, полученных с БПЛА.

В целом, использование данных спутникового мониторинга, в том числе временных рядов значений NDVI, позволяет оценить неоднородности посевов на уровне района и региона, а также в пределах одного поля.

ASSESSMENT OF HETEROGENEITIES DEVELOPMENT OF CROPS IN THE FAR EAST USING REMOTE SENSING DATA

A.S. Stepanov¹, G.V. Kharitonova², K.N. Dubrovin³

¹*Far Eastern Agriculture Research Institute, Khabarovsk, Russia*

stepanfx@mail.ru

²*Institute of Water and Ecology Problems, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences,*

Khabarovsk, Russia

gkharitonova@mail.ru

³*Computing Center, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russia*

nobforward@gmail.com

ABSTRACT. Assessment of crop heterogeneity using remote sensing data is an urgent task of digital agriculture. It is established that the time series of the NDVI seasonal course can be used to assess the heterogeneity of soybean, buckwheat and other crops at the district level. According to the degree of contamination of the fields of the Khabarovsk region with weed crops, three clusters were formed. A comparative assessment of the heterogeneity of crop development within the same field was carried out using data from the UAV and the Sentinel-2.

Keywords: *satellite monitoring, UAV, remote sensing, heterogeneity, arable lands*

Литература

- ¹ Якушев В. П., Блохин Ю. И., Блохина С. Ю. [и др.] Теоретические основы дистанционной и наземной количественной оценки внутриполевой изменчивости для точного земледелия. Санкт-Петербург: АФИ, 2023. 75 с.
- ² Витковская С. Е. Факторы, определяющие неоднородность биомассы и элементного состава растений // Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения: сборник научных трудов. Санкт-Петербург – Пушкин: Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 2019. С. 18–21
- ³ Якушев В. П., Канаш Е. В., Якушев В. В. [и др.] Новые возможности автоматизации процесса обнаружения внутриполевой неоднородности по гиперспектральным снимкам и оптическим критериям // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 24–32.
- ⁴ Якушев В. П., Канаш Е. В., Русаков Д. В. Корреляционные зависимости между вегетационными индексами, урожаем зерна и оптическими характеристиками листьев пшеницы при разном содержании в почве азота и густоте посева // Сельскохозяйственная биология. 2022. Т. 57. № 1. С. 98–112.
- ⁵ Прудникова Е. Ю., Савин И. Ю., Грубина П. Г. Спутниковая оценка агрономически важных свойств пахотных почв с учетом состояния их поверхности // Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева. 2023. Вып. 115. С. 129–159.
- ⁶ Савин И. Ю., Столбовой В. С., Иванов А. Л. [и др.] Технологии составления и обновления почвенных карт. М.: Перо, 2019. 328 с.
- ⁷ Письман Т. И., Ерунова М. Г., Ботвич И. Ю. [и др.] Информативность спектральных вегетационных индексов для оценки засоренности посевов сельскохозяйственных культур по наземным и спутниковым данным // Исследование Земли из космоса. 2021. № 3. С. 55–66.
- ⁸ Maes W. H., Steppe K. Perspectives for Remote Sensing with Unmanned Aerial Vehicles in Precision Agriculture // Trends Plant Sci. 2019. Vol. 24 (2). P. 152–164.
- ⁹ Grüner E., Wachendorf M., Astor T., Müllerová J. The potential of UAV-borne spectral and textural information for predicting aboveground biomass and N fixation in legume-grass mixtures // PLoS One. 2020. Vol. 15 (6). P. 0234703.