

Методология исследования геосистем Methodology of Geosystems Research

УДК 911.9

DOI 10.52575/2712-7443-2026-50-1-0-8

EDN LUSMOK

Возможности использования NDVI по данным Landsat 8 OLI для оценки урожайности цитрусовых культур в Сирии

¹Нассер С., ^{1,2}Савин И.Ю.

¹Российский университет дружбы народов,
Россия, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

²Почвенный институт им. В.В. Докучаева,
Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер. 7, стр. 2
savigory@gmail.com

Аннотация. Цитрусовые культуры являются основой сельскохозяйственного производства многих стран Средиземноморья. Нестабильные метеорологические условия предопределяют сильное варьирование урожайности этих культур от года к году, что отражается на экономическом состоянии стран. Это предопределяет большую значимость мониторинга их состояния и прогнозирования урожайности, которые во многих странах не проводятся вовсе или оцениваются опросно-статистическим методом. Целью исследований был анализ возможностей использования многолетних временных рядов *NDVI* (*Normalized Difference Vegetation Index*), вычисленных по спутниковым данным *Landsat 8 OLI*, для прогнозирования урожайности цитрусовых культур. Для региона Латакия с насаждениями различных цитрусовых культур были рассчитаны значения *NDVI* для всех имеющихся в архивах изображений за период с 2013 по 2023 годы. После этого был проведен регрессионный анализ различных предикторов, рассчитанных по *NDVI*, со статистическими значениями урожайности. Было установлено, что наилучшим предиктором урожайности для всех сортов цитрусовых культур является среднее за год значение *NDVI*, с использованием которого возможно построение регрессионных моделей с R^2 0,5–0,6. Менее качественные модели с R^2 0,36–0,45 могут быть построены с использованием в качестве предиктора средних значений *NDVI*, полученных за зимний период перед вегетационным сезоном, что открывает возможности для получения прогнозных оценок урожайности еще до фазы уборки урожая.

Ключевые слова: спутниковый мониторинг земель, цитрусовые культуры, прогнозирование урожайности, дистанционное зонирование, *Landsat*

Для цитирования: Нассер С., Савин И.Ю. 2026. Возможности использования NDVI по данным Landsat 8 OLI для прогнозирования урожайности цитрусовых культур в Сирии. Региональные геосистемы, 50(1): 95–104. DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-1-0-8 EDN: LUSMOK

Possibilities of Using Landsat 8 OLI-Based NDVI for Assessing Citrus Crop Yield in Syria

¹Said Nasser, ^{1,2}Igor Yu. Savin

¹Peoples' Friendship University of Russia,
6 Miklukho-Maklay St., Moscow 117198, Russia

²V.V. Dokuchaev Soil Science Institute,
7 Pyzhevsky Lane, Moscow 119017, Russia
savigory@gmail.com

© Нассер С., Савин И.Ю., 2026

Abstract. Citrus crops are the mainstay of agricultural production in a large part of the Mediterranean. The unstable meteorological conditions predetermine a strong variation in the yield of these crops from year to year, which affects the economic situation of the countries. In this regard, their monitoring and yield forecasting are of great importance. In many cases, these activities are not carried out at all or are estimated by survey and statistical methods. The aim of the research was to analyze the possibilities of using multi-year NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) time series calculated from Landsat 8 OLI satellite data to predict the yield of citrus crops. For Latakia region with plantations of various citrus crops, NDVI values were calculated for all images available in the archives for the period from 2013 to 2023. After that, regression analysis of different predictors calculated from NDVI with statistical values of yield was performed. It has been found that the best predictor of yield for all citrus cultivars is the annual average NDVI value, using which regression models with R^2 ranging from 0.5 to 0.6 are possible. Less qualitative models with R^2 varying between 0.36 and 0.45 may be built using the average NDVI values obtained in winter, prior to the vegetation season, as a predictor, thus opening up the possibility to obtain predictive estimates of yield even before the harvesting phase.

Keywords: satellite-based land monitoring, citrus crops, yield forecasting, remote sensing, Landsat

For citation: Nasser S., Savin I.Yu. 2026. Possibilities of Using Landsat 8 OLI-Based NDVI for Assessing Citrus Crop Yield in Syria. Regional Geosystems, 50(1): 95–104 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-1-0-8 EDN: LUSMOK

Введение

Возделывание цитрусовых культур является основой сельскохозяйственного производства многих стран, расположенных в тропическом и субтропическом климате. Плоды цитрусовых широко используются населением в качестве продуктов питания, а также экспортируются в другие страны мира. Одним из наиболее развитых очагов возделывания цитрусовых является Средиземноморье [Rehman et al., 2020]. На территории Сирии возделывание цитрусовых в связи с природными условиями сосредоточено в провинциях Латакия и Тартус, где более 27000 фермеров возделывают цитрусовые культуры. На начало текущего столетия там производилось около 1 % мировой продукции этих культур и их производство быстро увеличивалось. В отдельные годы это приводило к перепроизводству, значительному падению внутренних цен и увеличению экспорта [Fiorillo, Vercueil, 2003]. На подобную нестабильность рынка цитрусовых в стране накладывается воздействие таких внешних лимитирующих факторов, как межгодовые колебания климата, варьирование количества используемых удобрений, пульсирующие инвазии вредителей и распространение болезней [Galvañ et al., 2022]. Все это создает значительные трудности для планирования производства цитрусовых в стране и диктует необходимость создания современной системы оперативного и низкзатратного мониторинга и прогнозирования урожайности.

Статистическая отчетность по производству цитрусовых в стране формируется на основе опросных методов, что приводит к невысокой точности получаемых данных и длительности самого процесса сбора и обобщения информации от фермеров.

В последние десятилетия наблюдается бурное развитие дистанционных методов сельскохозяйственного мониторинга. Так, использование многолетних архивов спутниковых данных показало высокую эффективность мониторинга состояния посевов многих однолетних сельскохозяйственных культур, определения площади посевов и оценки ущерба от воздействия неблагоприятных факторов, лимитирующих урожайность [Лупян и др., 2009; Atzberger et al., 2020]. В качестве основного индикатора обычно используется *NDVI*, который был предложен уже около 50 лет назад [Rouse et al., 1974]. Но, большая часть подобных исследований и систем спутникового мониторинга ориентирована на однолетние сельскохозяйственные культуры. Исследований в области

спутникового мониторинга многолетних плодовых насаждений до сих пор мало [Usha, Singh, 2013; Толпин и др., 2017; Savin et al., 2020], что связано со спецификой их вегетации и морфологии. У цитрусовых культур сказывается влияние возраста насаждений, постепенной смены листьев, растянутость и слабая выраженность сезона вегетации [Moussaid et al., 2021; Нассер, Савин, 2024]. Недостаточное научное обоснование приводит к тому, что существующие глобальные системы мониторинга культур на основе спутниковой информации [Лупян и др., 2011; Wu et al., 2014; van der Velde et al., 2019] не направлены на мониторинг многолетних плодовых культур.

Целью статьи является рассмотрение возможности использования предикторов, основанных на *NDVI (Landsat 8)* для оценки урожайности цитрусовых насаждений на территории Латакии (Сирия).

Объекты и методы исследования

Объектом исследований являются насаждения цитрусовых в муниципалитете Эль-Руиме (район Мазира, провинция Латакия, Сирия) (рис. 1). Площадь территории составляет 644 га. Она представляет собой наклонную к морю (на юго-запад) равнину с абсолютной высотой 50–100 метров и со щебнистыми суглинистыми почвами.



Рис. 1. Территория исследований (выдел с красной границей)

Fig.1. Test area (unit with red boundary)

Территория сильно освоена в сельскохозяйственном отношении. Фермеры в основном возделывают цитрусовые культуры и оливковые деревья. Основными цитрусовыми культурами в регионе являются апельсин (*Citrus × sinensis*) (красный апельсин, апельсин Джаффа, апельсин Валенсия, апельсин Абусура, апельсин Гриффон), лимон (*Citrus × limon*) (лимон Мейера), мандарин (*Citrus × reticulata*) и грейпфрут (*Citrus × paradisi*).

По данным статистического департамента провинции Латакия в 2013–2023 годах средняя урожайность цитрусовых составляла около 23 т/га с изменениями от года к году от 12 до 27 т/га. При этом урожайность грейпфрута в среднем составляла 28 т/га (с размахом от 18 до 37 т/га), лимона – 17 т/га (с размахом от 7 до 22 т/га), апельсина – 25 т/га (разброс от 11 до 29 т/га), мандарина – 23 т/га (разброс от 18 до 27 т/га).

В качестве основы использовалась карта размещения цитрусовых на территории исследований, построенная по спутниковым данным *Landsat* ранее [Нассер, Савин, 2024]. Всего на территории исследований оказалось 152 участка с апельсином, 97 участков с мандарином, 49 участков с лимоном, 23 участка с грейпфрутом (рис. 2).

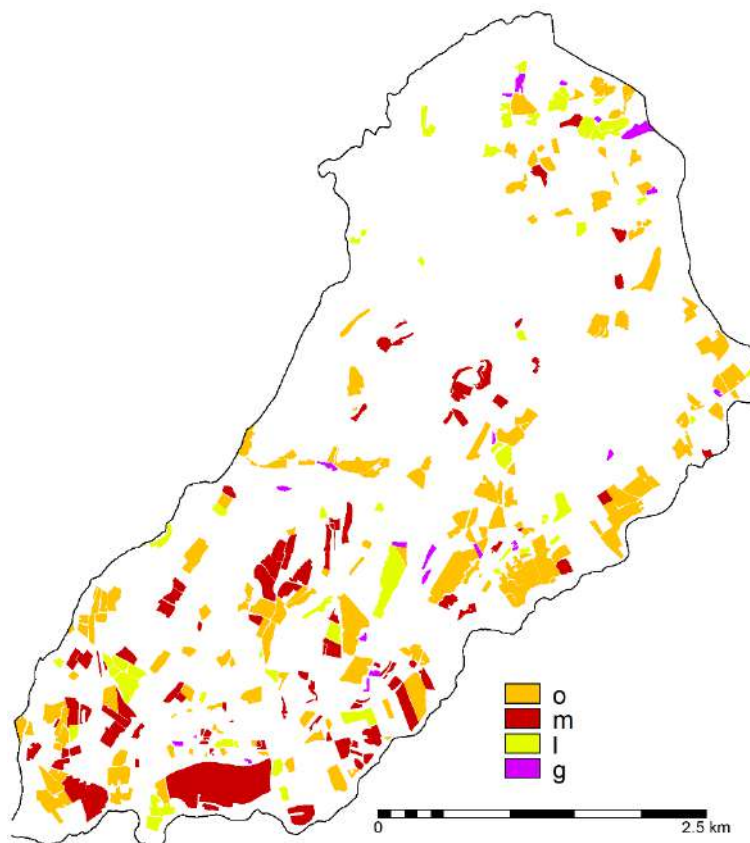


Рис.2. Маска полей с разными видами цитрусовых культур
(o – апельсин; m – мандарин; l – лимон; g – грейпфрут)

Fig. 2. Plots with citrus (o – orange; m – mandarin; l – lemon; g – grapefruit)

Для расчета *NDVI* были отобраны все имеющиеся для территории исследований безоблачные изображения *Landsat 8 OLI* (пространственное разрешение 30 метров на местности, периодичность съемки раз в 16 дней, 8 каналов съемки в видимой и инфракрасной области спектра) за период с 2013 по 2023 год. Всего было отобрано 231 изображение (использовался продукт второго уровня обработки, после радиометрической и атмосферной коррекции).

Величина вегетационного индекса *NDVI* для всех изображений рассчитывалась по формуле:

$$NDVI = (B5 - B4) / (B5 + B4),$$

где *B4* и *B5*, соответственно, значения спектральной яркости в 4 и 5 каналах съемки *Landsat 8 OLI*.

После этого значения *NDVI* были усреднены с использованием маски участков с соответствующей цитрусовой культурой. Затем был проведен регрессионный анализ между статистическими данными об урожайности и спутниковыми предикторами, определенными на основе осредненных значений *NDVI*, в качестве которых использовались следующие:

- среднее взвешенное арифметическое значение *NDVI* за год;

- средняя взвешенная разница между сезонными максимумом и минимумом $NDVI$;
- среднее взвешенное арифметическое значение сезонного максимума индекса;
- среднее взвешенное арифметическое значение сезонного минимума индекса;
- среднее взвешенное арифметическое значение $NDVI$ за летний сезон;
- среднее взвешенное арифметическое значение $NDVI$ за зимний сезон.

Теоретически, зависимость между урожайностью и $NDVI$ может быть близка и к нелинейному виду [Rai et al., 2022]. Но, как правило при моделировании урожайности по спутниковым предикторам возникает проблема с длиной временного ряда, который может быть использован. Сорта возделываемых растений достаточно часто сменяются на другие, с иными свойствами, что может повлиять на качество создаваемых моделей. Поэтому чаще всего используют выборки из 10–20 лет [Ali et al., 2022], длина которых недостаточна для построения качественных нелинейных моделей. Поэтому в наших исследованиях использованы модели линейной связи.

Качество регрессионных моделей оценивалось по значениям коэффициента детерминации R^2 . Использовали следующие правила. Модель с R^2 больше 0,5 является удовлетворительной. При R^2 больше 0,8 модель считалась очень хорошей. При значениях R^2 меньше 0,5 модель принималась плохой¹. Статистический анализ данных проводился с использованием *Excel Microsoft Office 2016*. Работа со спутниковыми изображениями велась с использованием *ГИС ILWIS v.3.3*.

Результаты и их обсуждение

Согласно данным региональной статистики урожайность citrusовых изменяется достаточно синхронно у разных видов. Четко выражен общий тренд к понижению урожайности с достижением минимальных значений в 2022 году (рис. 3).

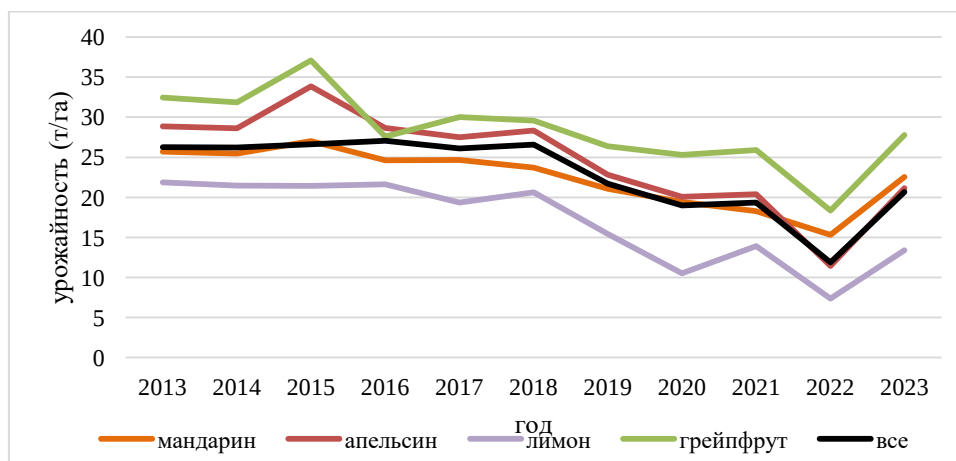


Рис. 3. Динамика статистической урожайности citrusовых культур

Fig. 3. Citrus crop yield dynamics

Но в отдельные годы кривые урожайности для разных видов citrusовых ведут себя неодинаково. Учитывая схожесть фенологического периода citrusовых на территории исследований, можно предположить, что эта асинхронность является результатом не метеорологических и фитосанитарных факторов, которые формируют общий тренд, а прочими условиями [Fiorillo, Vercueil, 2003].

Предикторы, основанные на $NDVI$, характеризуются разным поведением в отдельные годы рассматриваемого периода (рис. 4). Три из них демонстрируют четкий положительный тренд (среднее годовое значение $NDVI$, сезонный максимум $NDVI$ и среднее значение $NDVI$ за летний период), а у остальных тренд не выражен.

¹ Домбровский В.В. 2004. Эконометрика. М., Новый учебник, 342 с.

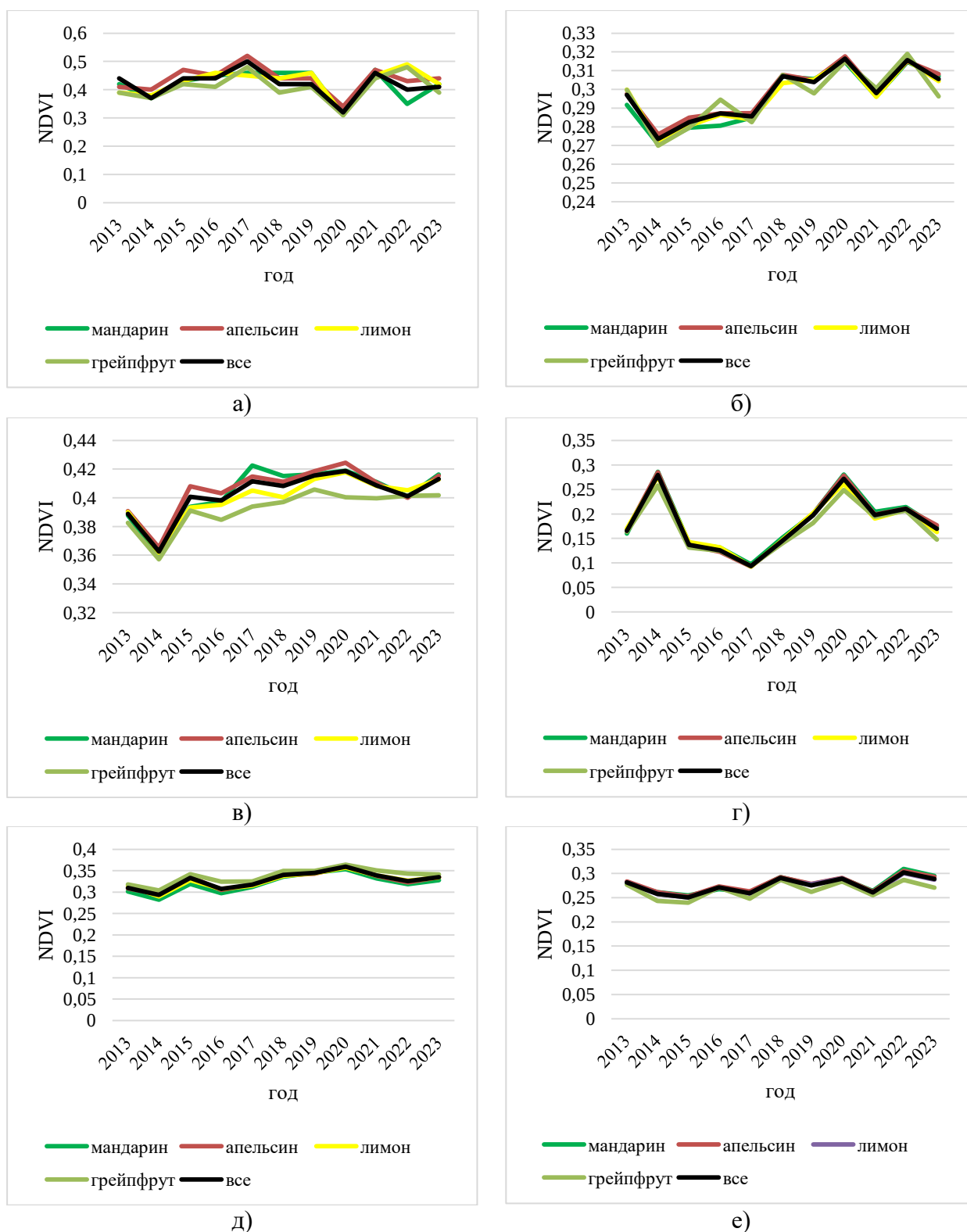


Рис. 4. Многолетняя динамика спутниковых предикторов: а) среднее годовое значение $NDVI$; б) годовой размах значений $NDVI$; в) сезонный максимум $NDVI$; г) сезонный минимум $NDVI$; д) среднее значение $NDVI$ в летний сезон; е) среднее значение $NDVI$ в зимний сезон

Fig. 4. Long-term dynamics of satellite predictors: а) yearly average $NDVI$; б) yearly $NDVI$ range; в) seasonal $NDVI$ maximum; г) seasonal $NDVI$ minimum; д) average $NDVI$ for summer season; е) average $NDVI$ for winter season

Кривые многолетних изменений *NDVI* для разных видов цитрусовых достаточно похожи друг на друга. В наибольшей степени они различаются в случае сезонного максимума индекса, что скорее всего связано с особенностями их агротехники (обрезка, внесение удобрений, орошение) [Almohamed, Darwish, 2021; Matias et al., 2023]. Схожесть многолетней динамики остальных предикторов скорее всего связана с ведущим значением метеорологических условий в анализируемой динамике. Выраженность положительного тренда скорее всего обусловлена возрастным составом насаждений. Их рост от года к году сопровождается накоплением надземной зеленой фитомассы, что и отражается на увеличении значений *NDVI* и построенных на нем предикторов.

Оказалось, что удовлетворительные по качеству линейные регрессионные модели могут быть построены лишь при использовании такого предиктора, как среднегодовые значения *NDVI* (таблица). Судя по данным таблицы, полученные модели мало отличаются по качеству друг от друга. Немного более качественная модель (с $R^2 = 0,59$) была построена лишь для насаждений лимона.

Коэффициенты детерминации регрессионных уравнений между статистическими значениями урожайности цитрусовых и спутниковыми предикторами
Determinant coefficient of regression models between citrus statistical yield and satellite predictors

Спутниковый предиктор	Мандарин	Апельсин	Лимон	Грейпфрут	Все цитрусовые
Среднее годовое значение <i>NDVI</i>	0,56	0,54	0,59	0,56	0,52
Средняя разница между сезонным максимумом и сезонным минимумом <i>NDVI</i>	0,12	0,07	0,00	0,05	0,13
Среднее значение сезонного максимума <i>NDVI</i>	0,15	0,06	0,42	0,24	0,12
Среднее значение сезонного минимума <i>NDVI</i>	0,19	0,19	0,16	0,12	0,21
Среднее значение <i>NDVI</i> в летний сезон	0,27	0,11	0,36	0,17	0,19
Среднее значение <i>NDVI</i> в зимний сезон	0,39	0,45	0,37	0,36	0,34

Регрессионные модели, построенные с использованием такого предиктора, как среднее значение *NDVI* за зимний сезон, оказались более высокого качества, чем модели, построенные по другим предикторам, но, согласно принятым градациям, их качество все равно относится к неудовлетворительному. Следовательно, урожайность цитрусовых на территории исследований в большей степени коррелирует с состоянием надземной фитомассы растений зимой, чем летом. Похожие закономерности были установлены ранее для территории Китая [Wang et al., 2022]. Но в отличие от этих результатов, регрессии для региона исследований оказались негативными, что свидетельствует о том, что увеличение среднегодовых значений *NDVI* является индикатором снижения урожайности цитрусовых. Похожий эффект иногда отмечается и для однолетних культур [Panek, Gozdowski, 2021]. В качестве основных причин этого можно предположить старение насаждений, влияние обрезки деревьев на значения *NDVI* и урожайность, а также непосредственное влияние плодов на интегральные отражательные свойства насаждений. Но только на основе дополнительных исследований можно будет выяснить влияние конкретных факторов, объясняющих эту особенность.

Таким образом, регрессионные модели высокого качества между использованными спутниковыми предикторами и урожайностью цитрусовых культур построить не удалось. Это вполне логично и объясняется в первую очередь недостаточно высоким качеством масок отдельных видов цитрусовых насаждений. Ошибки в десятки процентов при детектировании полей с теми или иными культурами [Нассер, Савин, 2024] не могло не сказаться на качестве этих моделей. Также на качество моделей без сомнения оказала влияние и доступность безоблачных спутниковых данных для территории исследований. Их количество было разным для каждого года, что также могло отразиться на точности расчета предикторов урожайности на основе *NDVI*.

Тем не менее, наличие удовлетворительных по качеству моделей открывает возможности для альтернативной оценки урожайности разных видов цитрусовых культур в регионе на основе спутниковых данных.

Заключение

Проведенные исследования показали, что существует хорошо выраженная зависимость между статистической урожайностью цитрусовых культур и предикторами, рассчитанными на основе *NDVI Landsat -8 OLI*. Наиболее информативным предиктором является среднее годовое значение *NDVI*. Связь может быть аппроксимирована уравнением линейной регрессии с R^2 равным 0,5–0,6. Среди разных видов цитрусовых культур немного более качественная модель на территории исследований может быть создана для насаждений лимона. Качество регрессионных моделей, по-видимому, может быть улучшено после уточнения масок цитрусовых культур. Наличие удовлетворительных по качеству моделей открывает возможности для альтернативной оценки урожайности разных видов цитрусовых культур в регионе исследований на основе существующих архивов спутниковых данных.

Список литературы

- Лупян Е.А., Барталев С.А., Савин И.Ю. 2009. Технологии спутникового мониторинга в сельском хозяйстве России. *Аэрокосмический курьер*, 6: 47–49.
- Лупян Е.А., Савин И.Ю., Барталев С.А., Толпин В.А., Балашов И.В., Плотников Д.Е. 2011. Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности («ВЕГА»). *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 8(1): 190–198.
- Нассер С., Савин И.Ю. 2024. Детектирование насаждений цитрусовых культур в Сирии по спутниковым данным *LANDSAT-8 OLI*. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 21(4): 199–208. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2024-21-4-199-208>.
- Толпин В.А., Рыбалко Е.А., Баранова Н.В., Кашницкий А.В., Лупян Е.А., Уваров И.А. 2017. Формирование информационной базы спутниковых и наземных данных для отработки методик дистанционного мониторинга виноградарства в Республике Крым. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 14(1): 101–110. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2017-14-1-101-110>.
- Ali A.M., Abouelghar M., Belal A.A., Saleh N., Yones M., ... Maginan S. 2022. Crop Yield Prediction Using Multi Sensors Remote Sensing (Review Article). *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 25(3): 711–716. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2022.04.006>.
- Almohamed S., Darwish C. 2021. Review of the Syrian agriculture and future prospects for reconstruction. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*, 15(2): 35–49. <https://doi.org/10.35516/jjas.v15i2.44>.
- Atzberger C., Zeug G., Defourny P., Aragao L., Hammarstrom L., Immitzer M. 2020. Monitoring of Forests Through Remote Sensing. Final Report, Publications Office. European Commission, Directorate General for Environment, 147 p.
- Fiorillo C., Vercueil J. 2003. Syrian Agriculture at the Crossroads. Rome, FAO Agricultural Policy and Economic Development Series, 462 p.

- Galvañ A., Boughalleb-M'Hamdi N., Benfradj N., Mannai S., Lázaro E., Vicent A. 2022. Climate Suitability of the Mediterranean Basin for Citrus Black Spot Disease (*Phyllosticta Citricarpa*) Based on a Generic Infection Model. *Scientific Reports*, 12(1): 19876. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-22775-z>.
- Matias P., Barrote I., Azinheira G., Continella A., Duarte A. 2023. Citrus Pruning in the Mediterranean Climate: A Review. *Plants*, 12(19): 3360. <https://doi.org/10.3390/plants12193360>.
- Moussaid A., Fkihi S., Zennayi Y. 2021. Citrus Orchards Monitoring based on Remote Sensing and Artificial Intelligence Techniques: A Review of the Literature. *International Conference on Advanced Technologies for Humanity*, 172–178. <https://doi.org/10.5220/0010432001720178>.
- Panek E., Gozdowski D. 2021. Relationship between MODIS Derived NDVI and Yield of Cereals for Selected European Countries. *Agronomy*, 11(2): 340. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020340>.
- Rai S., Nandre J., Kanawade B.R.A. 2022. A Comparative Analysis of Crop Yield Prediction using Regression. *International Conference on Intelligent Technologies (CONIT)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/CONIT55038.2022.9847783>.
- Rehman S.U., Abbasi K., Qayyum A. 2020. Comparative Analysis of Citrus Fruits for Nutraceutical Properties. *Food Science and Technology*, 40(1): 153–157. <https://doi.org/10.1590/fst.07519>.
- Rouse J.W., Haas R.H., Scheel J.A., Deering D.W. 1974. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. *Proceedings, 3rd Earth Resource Technology Satellite (ERTS) Symposium*, 1: 48–62.
- Savin I., Klyukina A., Dragavtseva I. 2020. About Possibilities of Apple Trees Flowering Date Detection Based on MODIS Data. *20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM*, 2.2: 157–164. <https://doi.org/10.5593/sgem2020/2.2/s10.019>.
- Usha K., Singh B. 2013. Potential Applications of Remote Sensing in Horticulture – A Review. *Scientia Horticulturae*, 153(3): 71–83. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.01.008>.
- van der Velde M., van Diepen C.A., Baruth B. 2019. The European Crop Monitoring and Yield Forecasting System: Celebrating 25 years of JRC MARS Bulletins. *Agricultural Systems*, 168: 56–57.
- Wang S., Xie W., Yan X. 2022. Effects of Future Climate Change on Citrus Quality and Yield in China. *Sustainability*, 14(15): 9366. <https://doi.org/10.3390/su14159366>.
- Wu B., Meng J., Li Q., Yan N., Du X., Zhang M. 2014. Remote Sensing-Based Global Crop Monitoring: Experiences with China's CropWatch System. *International Journal of Digital Earth*, 7(2): 113–137. <https://doi.org/10.1080/17538947.2013.821185>.

References

- Loupian E.A., Bartalev S.A., Savin I.YU. 2009. Tekhnologii sputnikovogo monitoringa v sel'skom hozyajstve Rossii [Satellite Monitoring Technologies in Russian Agriculture]. *Aerokosmicheskij kurier*, 6: 47–49.
- Loupian E.A., Savin I.Yu., Bartalev S.A., Tolpin V.A., Balashov I.V., Plotnikov D.E. 2011. Satellite Service for Vegetation Monitoring VEGA. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*, 8(1): 190–198 (in Russian).
- Nasser S., Savin I.Yu. 2024. Detection of Citrus Crop Plantation in Syria Using Landsat-8 OLI Satellite Data. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*, 21(4): 199–208 (in Russian). <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2024-21-4-199-208>
- Tolpin V.A., Rybalko E.A., Baranova N.V., Kashnitskiy A.V., Loupian E.A., Uvarov I.A. 2017. Building a Repository of Satellite and Ground Data for the Development of Viticulture Remote Monitoring Methods in the Republic of Crimea. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*, 14(1): 101–110 (in Russian). <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2017-14-1-101-110>.
- Ali A.M., Abouelghar M., Belal A.A., Saleh N., Yones M., ... Maginan S. 2022. Crop Yield Prediction Using Multi Sensors Remote Sensing (Review Article). *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 25(3): 711–716. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2022.04.006>.
- Almohamed S., Darwish C. 2021. Review of the Syrian agriculture and future prospects for reconstruction. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*, 15(2): 35–49. <https://doi.org/10.35516/jjas.v15i2.44>
- Atzberger C., Zeug G., Defourny P., Aragao L., Hammarstrom L., Immitzer M. 2020. Monitoring of Forests Through Remote Sensing. Final Report, Publications Office. European Commission, Directorate General for Environment, 147 p.

- Fiorillo C., Vercueil J. 2003. Syrian Agriculture at the Crossroads. Rome, FAO Agricultural Policy and Economic Development Series, 462 p.
- Galvañ A., Boughalleb-M'Hamdi N., Benfradj N., Mannai S., Lázaro E., Vicent A. 2022. Climate Suitability of the Mediterranean Basin for Citrus Black Spot Disease (*Phyllosticta Citricarpa*) Based on a Generic Infection Model. *Scientific Reports*, 12(1): 19876. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-22775-z>.
- Matias P., Barrote I., Azinheira G., Continella A., Duarte A. 2023. Citrus Pruning in the Mediterranean Climate: A Review. *Plants*, 12(19): 3360. <https://doi.org/10.3390/plants12193360>.
- Moussaid A., Fkihi S., Zennayi Y. 2021. Citrus Orchards Monitoring based on Remote Sensing and Artificial Intelligence Techniques: A Review of the Literature. *International Conference on Advanced Technologies for Humanity*, 172–178. <https://doi.org/10.5220/0010432001720178>.
- Panek E., Gozdowski D. 2021. Relationship between MODIS Derived NDVI and Yield of Cereals for Selected European Countries. *Agronomy*, 11(2): 340. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020340>
- Rai S., Nandre J., Kanawade B.R.A. 2022. A Comparative Analysis of Crop Yield Prediction using Regression. *International Conference on Intelligent Technologies (CONIT)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/CONIT55038.2022.9847783>.
- Rehman S.U., Abbasi K., Qayyum A. 2020. Comparative Analysis of Citrus Fruits for Nutraceutical Properties. *Food Science and Technology*, 40(1): 153–157. <https://doi.org/10.1590/fst.07519>.
- Rouse J.W., Haas R.H., Scheel J.A., Deering D.W. 1974. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. *Proceedings, 3rd Earth Resource Technology Satellite (ERTS) Symposium*, 1: 48–62.
- Savin I., Klyukina A., Dragavtseva I. 2020. About Possibilities of Apple Trees Flowering Date Detection Based on MODIS Data. *20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM*, 2.2: 157–164. <https://doi.org/10.5593/sgem2020/2.2/s10.019>.
- Usha K., Singh B. 2013. Potential Applications of Remote Sensing in Horticulture – A Review. *Scientia Horticulturae*, 153(3): 71–83. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.01.008>.
- van der Velde M., van Diepen C.A., Baruth B. 2019. The European Crop Monitoring and Yield Forecasting System: Celebrating 25 years of JRC MARS Bulletins. *Agricultural Systems*, 168: 56–57.
- Wang S., Xie W., Yan X. 2022. Effects of Future Climate Change on Citrus Quality and Yield in China. *Sustainability*, 14(15): 9366. <https://doi.org/10.3390/su14159366>.
- Wu B., Meng J., Li Q., Yan N., Du X., Zhang M. 2014. Remote Sensing-Based Global Crop Monitoring: Experiences with China's CropWatch System. *International Journal of Digital Earth*, 7(2): 113–137. <https://doi.org/10.1080/17538947.2013.821185>.

*Поступила в редакцию 29.06.2025;
поступила после рецензирования 27.07.2025;
принята к публикации 02.08.2025*

*Received June 29, 2025;
Revised July 27, 2025;
Accepted August 02, 2025*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Нассер Саид, аспирант агроинженерного департамента, Аграрно-технологический институт Российского университета дружбы народов им. П. Лумумбы, г. Москва, Россия

Савин Игорь Юрьевич, профессор, доктор сельскохозяйственных наук, академик Российской академии наук, Почвенный институт им. В.В. Докучаева, г. Москва, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Said Nasser, Postgraduate Student of the Agricultural Engineering Department, Agrarian-technological Institute of Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

Igor Yu. Savin, Professor, Doctor of Agricultural Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, V.V. Dokuchaev Soil Institute, Moscow, Russia