

УДК 634.8

Научный обзор

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-383-6-126-131

В.А. Орлов ✉

А.А. Лукьянов

Анапская зональная опытная станция виноградарства и виноделия — филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», Анапа, Россия

✉ vitorl@yandex.ru

Поступила в редакцию:

26.01.2024

Одобрена после рецензирования:

14.05.2024

Принята к публикации:

29.05.2024

Review

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-383-6-126-131

Vitaly A. Orlov ✉

Alexey A. Lukyanov

Anapa Zonal Experimental Station of Viticulture and Winemaking — Branch of the Federal State Budget Scientific Institution "North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making", Anapa, Russia

✉ vitorl@yandex.ru

Received by the editorial office:

26.01.2024

Accepted in revised:

14.05.2024

Accepted for publication:

29.05.2024

Детектирование индексов вегетации виноградных насаждений как один из инструментов при мониторинге состояния виноградников

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Вегетационные индексы (ВИ) позволяют соотнести оценочные признаки силы роста виноградного растения со значениями продуктивности в различные периоды фенофаз. Виноград особенно тонко реагирует на условия погодно-климатических изменений и аномальных проявлений погоды. При всем разнообразии ВИ, которые используются для мониторинга виноградных насаждений, наиболее эффективным является NDVI. Главное преимущество NDVI — это использование всего двух спектральных каналов — красного света и ближнего красного излучения. Использование спутниковых данных Sentinel-2 в мониторинге виноградников показало высокую эффективность в течение всего периода вегетации, во многих странах ведутся исследования по применению ВИ для оценки развития и продуктивности виноградников.

Цель работы — найти оптимальную формулу расчета продуктивности виноградного растения на основе значений ВИ NDVI.

Методы. Стационарный полевой опыт агробиологических характеристик виноградных насаждений, обработка цифровых изображений спектральных каналов спутниковой платформы Sentinel-2. Цифровая обработка изображений и расчет ВИ NDVI проводились в ГИС SNAP Desktop.

Результаты. На основе значений ВИ определены фенологические периоды виноградного насаждения для расчета прогнозной урожайности. Наличие тесной связи между индексами вегетации, густотой кроны и урожайностью позволяет по мультиспектральным космическим снимкам определить силу развития виноградных растений в фенологические периоды. Разработанный метод оценки прогнозируемой урожайности на основе ВИ NDVI виноградного растения в фенофазах цветения и роста позволяет рассчитывать прогнозную урожайность с высокой точностью по отношению к фактической.

Ключевые слова: виноградное насаждение, урожайность, фенологический период, вегетационный индекс, NDVI, спутниковые данные, Sentinel-2, агроучет, виноградный куст

Для цитирования: Орлов В.А., Лукьянов А.А. Детектирование индексов вегетации виноградных насаждений как один из инструментов при мониторинге состояния виноградников. *Аграрная наука.* 2024; 383(6): 126–131.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-126-131>

© Орлов В.А., Лукьянов А.А.

Detection of vegetation indices of grape plantations as one of the tools for monitoring the condition of vineyards

ABSTRACT

Relevance. Vegetation indices (VI) indices allow one to correlate the estimated signs of growth vigor of a grape plant with productivity values in different periods of phenophases. Grapes respond especially subtly to conditions of weather and climate changes and abnormal weather manifestations. For monitoring vineyards, NDVI is the most effective. The use of Sentinel-2 satellite data in monitoring vineyards has shown high efficiency throughout the entire growing season, and in many countries research is underway on the use of VI to assess the development and productivity of vineyards.

The aim of the work is to find the optimal formula for calculating the productivity of a grape plant based on the values of NDVI.

Methods. Stationary field experience of agrobiological characteristics of grape plantations, processing of digital images of spectral channels of the Sentinel-2 satellite platform. Digital image processing and calculation of NDVI VI were carried out in the GIS SNAP Desktop.

Results. Based on the VI values, the phenological periods of the grape planting were determined to calculate the predicted yield. The presence of a close relationship between vegetation indices, crown density and yield makes it possible to determine the strength of development of grape plants during phenological periods using multispectral satellite images. The developed method for assessing the predicted yield based on the NDVI VI of a grape plant in the phenophases of flowering and growth allows one to calculate the predicted yield with high accuracy in relation to the actual one.

Key words: grape planting, yield, phenological period, vegetation index, NDVI, satellite data, Sentinel-2, agrobiological accounting, grape bush

For citation: Orlov V.A., Lukyanov A.A. Detection of vegetation indices of grape plantations as one of the tools for monitoring the condition of vineyards. *Agrarian science.* 2024; 383(6): 126–131 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-126-131>

© Orlov V.A., Lukyanov A.A.

Введение/Introduction

Вегетационные индексы — важный инструмент для мониторинга почвы, силы роста растений, оценки водного стресса и урожайности виноградников. Интерес к мультиспектральным спутниковым данным для мониторинга виноградных насаждений растет в связи с их доступностью, высокой периодичностью съемки больших участков территории [1, 2]. Вегетационные индексы (ВИ) позволяют соотнести оценочные признаки силы роста виноградного растения со значениями продуктивности в различные периоды фенофаз [3]. Увеличение листовой поверхности побегов происходит последовательно: до цветения варьируется между 15% и 25% от максимума, а после цветения быстро увеличивается и в течение 20 дней достигает примерно 60–65%. Листовая поверхность увеличивается еще 40–45 дней после цветения и обычно достигает максимальных размеров к началу созревания ягод [4].

Виноград особенно тонко реагирует на условия климатических изменений и аномальных проявлений погоды, которые в последние десятилетия стали более нестабильны и принимают характер природных катаклизмов. Морфометрические параметры почвенной и рельефной поверхности участка более стабильны и определяют агроэкологические показатели виноградных насаждений. Наличие зависимости между влажностью почвы, площадью листовой поверхности и силой роста побегов винограда позволяет на основе нормализованных индексов вегетации выделять участки виноградного насаждения по силе роста куста и площади листовой поверхности [5]. При мониторинге виноградных насаждений используются различные модификации ВИ в зависимости от цели (определение фенологических периодов, исследование пигментации листьев, обнаружение заболеваний растений) [6]. Например, ВИ: Normalized Difference Water Index, NDWI является индексом для определения и мониторинга изменений влажности почв; Shortwave Infrared Water Stress Index, SIWSI — коротковолновый инфракрасный индекс водного стресса; Green Normalized Difference Vegetation Index, GNDVI — это индекс растительности для оценки активности фотосинтеза и потребления растениями воды и удобрений, используют для мониторинга водного стресса [7].

ВИ (NDVI, EVI, SAVI, MSAVI) отражают густоту фитомассы, площадь листовой поверхности насаждения и полноту рядов виноградного насаждения [8]. Основные алгоритмы, в большинстве формул расчета ВИ, используют данные двух и более спектральных каналов (табл. 1).

Таблица 1. Основные ВИ и алгоритмы их расчета по спектральным каналам (https://www.researchgate.net/publication/351660334_Remote_Sensing_Vegetation_Indices_in_Viticulture_A_Critical_Review)

Table 1. Basic VIs and algorithms for their calculation using spectral channels (https://www.researchgate.net/publication/351660334_Remote_Sensing_Vegetation_Indices_in_Viticulture_A_Critical_Review)

Алгоритм расчета вегетационного индекса по каналам RGB и ближним инфракрасным диапазоном NIR

$$NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR)$$

$$GNDVI = (NIR - Green) / (NIR + Green)$$

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$$

$$SAVI = [(NIR - Red) / (NIR + Red + L)] \times (1 + L)$$

Примечание: значение L основано на количестве зеленого растительного покрова. L — значение по умолчанию 0,5, что обычно означает области с умеренным зеленым растительным покровом.

$$MSAVI = 0.5 \times [2(NIR + 1) - \sqrt{(2 \times NIR + 1)^2 - 8(NIR - Red)}]$$

$$EVI = 2.5 \times (NIR - Red) / (1 + NIR + (6 \times Red) - (7.5 \times Blue))$$

ВИ Soil-Adjusted Vegetation Index, SAVI позволяет минимизировать влияние яркости почвы с помощью коэффициента коррекции яркости почвы и контролировать полноту рядов виноградного насаждения [9]. ВИ MSAVI — для минимизации влияния почвенного фона, когда имеются участки с высоким содержанием оголенной почвы, при высоких значениях почвенного фона используют оптимизированный ВИ OSAVI. ВИ Modified Soil Adjusted Vegetation Index, MSAVI — это модифицированная версия ВИ SAVI. В обоих индексах используется коэффициент, учитывающий почву (L) для уменьшения ее фонового влияния на индекс растительного покрова с той разницей, что для SAVI коэффициент необходимо задать, тогда как в MSAVI коэффициент L задается эмпирической функцией. MSAVI более применим на практике в исследовании виноградных насаждений, поскольку влияние почвы автоматически корректируется в соответствии с изменениями плотности растительного покрова и при его расчете не требуется задавать параметр L для учета почвы. ВИ MSAVI позволяет более точно оценивать силу роста кустов и площадь листовой поверхности для виноградного насаждения на фоне почвенного покрова.

По многочисленным исследованиям индекс площади листовой поверхности имеет линейную зависимость с индексом вегетации NDVI и улучшенным индексом вегетации Enhanced Vegetation Index, EVI. Сила роста виноградного растения, его листовая поверхность и плотность кроны проявляются как более высокие значения ВИ из-за фотосинтетической активности. EVI представляет собой улучшенный индекс растительности и снижает атмосферное влияние за счет комбинации красного и синего диапазонов, которые помогают минимизировать атмосферные эффекты. При оценке силы роста виноградных насаждений с помощью спутниковых данных Sentinel-2 могут использоваться улучшенные модификации вегетационных индексов в зависимости от задач [10].

При всем разнообразии вегетационных индексов, которые используются в мониторинге виноградных насаждений, наиболее используемым остается ВИ Normalized Difference Vegetation Index, NDVI — нормализованный относительный вегетационный индекс (из-за простоты в расчетах и независимости количественной оценки зеленой растительности от густоты и плотности полога). В отличие от сплошной растительности, виноградное насаждение имеет решетчатую структуру с чередованием рядов, междурядных и межклеточных дорог, что делает текстуру изображения периодической и линейно-протяженной, а влияние фона почвы и почвенного растительного покрова существенно и может составлять до 60% от всего насаждения. Другие модификации ВИ для разреженной растительности слабо изучены, и нет достоверных данных по их применению для мониторинга состояния виноградных насаждений. ВИ NDVI является одним из наиболее используемых индексов для мониторинга роста виноградных растений и изучения фенологии, в связи с этим эффективность модифицированных вариантов вегетационных индексов оценивается по отношению к нему, так как он уменьшает спектральный шум, вызванный условиями освещенности, топографическими особенностями местности, тенями облаков, а также имеет высокую степень корреляции с содержанием хлорофилла в листьях виноградных кустов и индексом площади листовой поверхности (LAI).

Видимые и ближние ИК-диапазоны Sentinel-2 имеют пространственное разрешение 10 м на пиксель. Так как

виноградные растения расположены рядами, то крона виноградного куста, оголенная почва и травянистая растительность сливаются в одно значение, что может как завышать, так и занижать значения вегетационного индекса [11].

Главное преимущество NDVI для расчетов — это использование всего двух спектральных каналов — красного света и ближнего красного излучения. Недостаток VI NDVI состоит в том, что при достижении определенного порога развития растения индекс теряет чувствительность: даже если сила роста растения высокая, то после значений 0,5 единицы и более по NDVI нельзя отличить аномально зеленое растение от обычного зеленого. Точность детектирования значений индекса VI NDVI зависит от погоды: в безоблачную снимок отображает поверхность более достоверно, чем в облачную, как и все остальные индексы. Использование спутниковых данных Sentinel-2 в мониторинге виноградников показало высокую эффективность при обработанной почве в междурядье, во многих странах ведутся исследования по применению VI для оценки развития виноградников по почвенно-топографическим признакам во взаимосвязи с погодно-климатическими параметрами и фенологическими периодами.

Самая высокая разница в отражательной способности растительности наблюдается в спектре видимого света (RGB) и ближнего красного спектра (NIR). При мониторинге виноградных насаждений VI NDVI показывает сильную корреляцию с такими параметрами, как продуктивность, фитомасса, влажность и органическая насыщенность почвы, испаряемость, объем выпавших осадков [https://gis-lab.info/qa/ndvi.html]. VI NDVI функционально эквивалентен простому соотношению инфракрасного (красного) света (NIR/VIS) и, в отличие от простого соотношения инфракрасного (красного) света, имеет линейные связи с листовой поверхностью. Существует множество вариантов функций для объединения данных спектральных каналов инфракрасного (красного) света, например видимого синего или зеленого цвета. Значение этого индекса колеблется от -1 до 1. Обычный диапазон для зеленой растительности составляет от 0,2 до 0,9 [12, 13].

Цель данной работы — найти оптимальную функцию для расчета значений состояния растений, выражаемую в планируемой урожайности на основе использования значений VI NDVI в различные фенологические периоды в сравнении с фактической урожайностью.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Объект исследования — виноград, ампелоценоз — 24,3 га (координаты: с. ш. 44.92, в. д. 37.36) Анапского района. Год посадки — весна 2019 г., сорт — Шардоне × Кобер 5ББ, схема посадки — 2,5 × 1,0 м, формировка Гюйо. Постановка полевого опыта и анализ данных осуществлялись в соответствии с методикой СКЗНИИСиВ¹ (2010 г.), при учете агробиологических и фенологических показателей применялась методика подсчета глазков и побегов в виноградарстве², определения урожайности³.

Основные методы — маршрутно-полевые исследования почвенных и агробиологических характеристик

виноградных насаждений, обработка цифровых изображений спектральных каналов спутниковой платформы Sentinel-2 [https://github.com/sentinel-hub/public-collections], формирование базы спектральных изображений. Цифровую обработку изображений и расчет VI NDVI проводили в ГИС SNAP Desktop (Copernicus Data Space Ecosystem под лицензией GPL-3 для свободного использования программного продукта) (https://step.esa.int/main/download/snap-download/). Обработка данных и математическое моделирование функции расчета продуктивности произведены в пакете MS Excel (США).

На участке насаждений винограда сорта были выделены 5 микрозон с различными физико-химическими характеристиками почвы:

1. Чернозем обыкновенный, мощный, глубоко солонцеватый, тяжелосуглинистый, сформированный на гипсовых глинах.
2. Чернозем южный, карбонатный, маломощный, супесчаный, сформированный на приморских песках.
3. Чернозем обыкновенный, мощный, карбонатный, тяжелосуглинистый, сформированный на тяжелых суглинках и глинах.
4. Чернозем южный, выщелоченный, мощный, среднесуглинистый, сформированный на лессовидных суглинках.
5. Чернозем южный, карбонатный, мощный, среднесуглинистый, глубокосолонцеватый, сформированный на лессовидных глинах.

Для 5 почвенных разностей в 2022 году были заложены 6 вариантов опыта по 20 кустов в каждом, на участках опыта исследовалась почва и проводились агробиологические учеты [14].

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Использование VI NDVI (по данным мультиспектральных изображений Sentinel-2) обусловлено свободным доступом к исходным изображениям и возможностью их скачивания с сервера https://apps.sentinel-hub.com/, высокой периодичностью съемки от 2 дней, наличием 4 спектральных каналов (всего 12) с разрешением 10 м, в том числе канала красного цвета B4 и ближнего инфракрасного B8. Имеется канал красного края B5 с разрешением в 20 м для расчета VI NDRE, но его обработка не дает дополнительных данных из-за необходимости передискретизации растрового изображения (raster resampling) в изображение с разрешением в 10 м. Последовательность процедуры создания индексных изображений заключается в следующем: для каждого пикселя вычисляют соответствующее значение вегетационного индекса; составляют шкалу градации индексов; каждому пикселю в соответствии с градацией присваивают цветовой код; пиксели одного цветового кода формируют контуры определенных типов объектов или их различных состояний; сформированное индексное изображение позволяет выделить исследуемый объект и оценить его состояние. Достоверность использования индексных изображений определяется не только метрическими свойствами выбранных площадок, но и фоном междурядья. При детектировании и анализе изображений на определение значений VI учитывались

¹ Серпуховитина К.А. Методическое и аналитическое обеспечение организации и проведения исследований по технологии производства винограда / К.А. Серпуховитина, А.М. Аджиев, Э.Н. Худовердов и др. Краснодар. 2010; 182.

² Агротехнические исследования по созданию интенсивных виноградных насаждений на промышленной основе ВНИИВиВ им. Я.И. Потапенко / под ред. Б.А. Музыченко. Новочеркасск. 1978; 168.

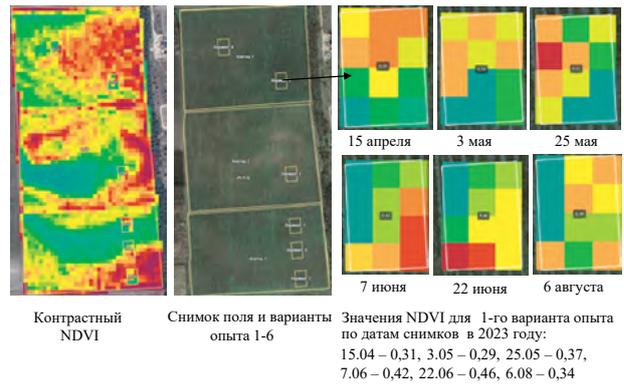
³ Агробиологические учеты и наблюдения по методике агротехнических опытов ВНИИВиВ им. Я.И. Потапенко (1978 г.) и методическим рекомендациям, разработанным ГНУ СКЗНИИСиВ Россельхозакадемии (2010 г.).

даты агротехнических работ по культивации почвы, прополке, чеканки, заведению побегов и обломки (рис. 1). С интернет-сервера (<https://dataspace.copernicus.eu/browser>) с открытым доступом к снимкам Sentinel-2 были получены 39 мультиспектральных изображений без облаков уровня 2A за период с 30 марта по 7 сентября. Пространственное разрешение Sentinel-2 в 10 м достаточно для оценки вегетативной реакции насаждения на агротехнику (культивация, чеканка молодого прироста) для выявления пространственной изменчивости силы роста виноградных растений. Эти результаты показывают, что различия в условиях роста виноградного насаждения наблюдаются при разбиении клетки на сетку с шагом 0,1 га и расчетом среднего значения VI в фенологических фазах виноградного насаждения в зависимости от их наступления на разных участках поля [15]. После обработки почвы в начале сезона временная реакция NDVI на всех 6 вариантах показывает снижение значений VI. После удаления междурядной растительности происходит снижение градиента VI из-за увеличения яркости почвы.

Последующие доступные изображения Sentinel-2 после чеканки показывают уменьшение значения NDVI в каждом варианте. Значения вегетационного индекса NDVI различны во время роста побегов, цветения и созревания ягод: в начале вегетационного сезона индекс нарастает, в момент цветения его рост достигает пика и приостанавливается, затем по мере созревания ягод NDVI снижается. В зависимости от почвенного

Рис. 2. Индексы NDVI для 1-го варианта опыта в разные периоды вегетации

Fig. 2. NDVI for 1st experimental variant during different growing seasons



плодородия, метеоусловий скорость развития биомассы будет разной. Наиболее точный прогноз урожайности виноградного насаждения по VI NDVI можно дать в момент прохождения пика значения NDVI. Пик NDVI обычно приходится на момент начала фазы созревания ягод. Пики NDVI для вариантов приходятся на 7 июня (в фенофазе цветения) и на 27 июня (в фенофазе роста). Если в фазы цветения и роста NDVI достигает значений 0,40–0,50, то и урожайность будет ниже расчетной — в диапазоне 30–50%. На рисунке 2 показан снимок виноградного насаждения для 6 вариантов опыта: поле с вариантами опытов.

Рис. 1. Изменение VI в течение вегетационного сезона

Fig. 1. Change in VI during the growing season

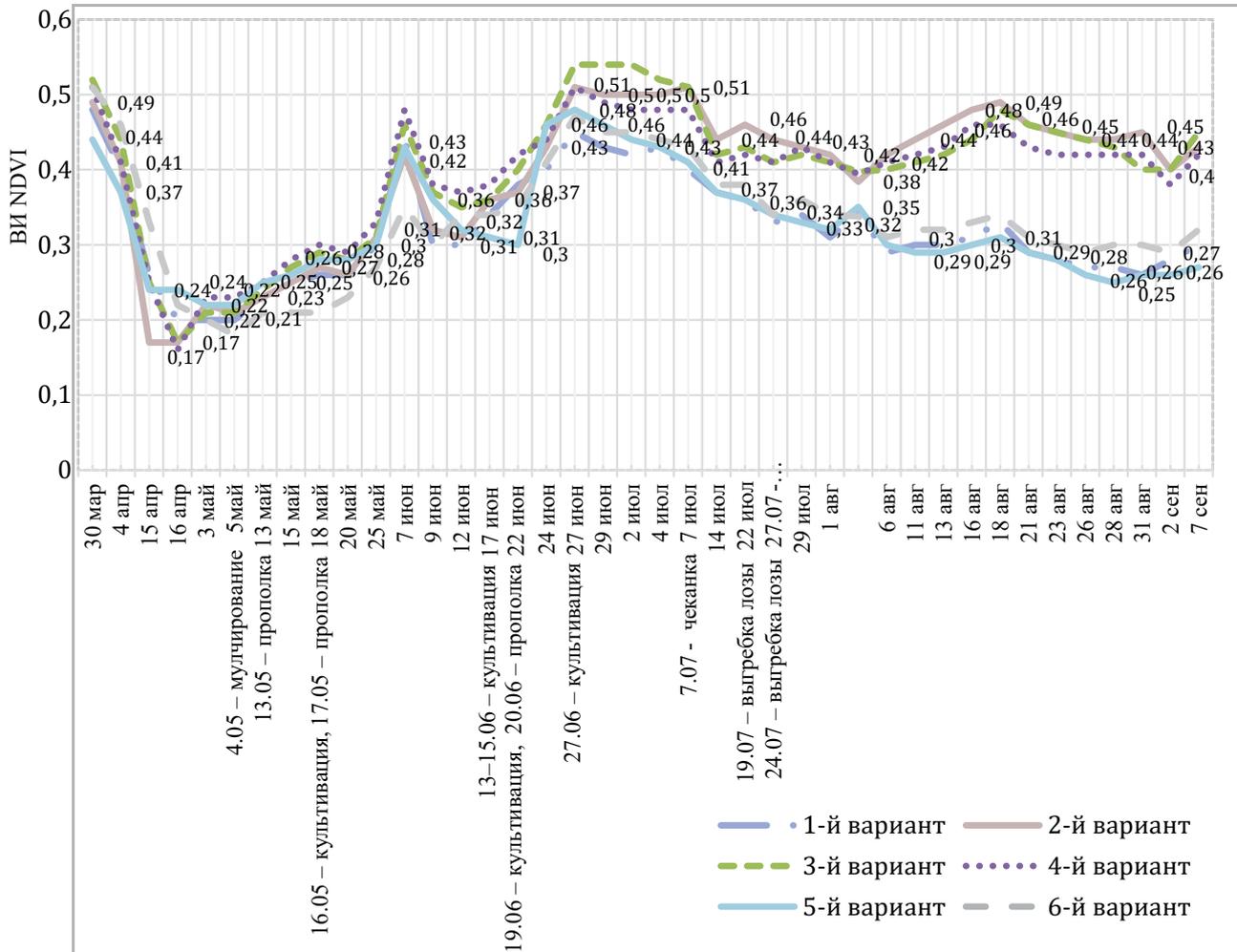


Таблица 2. Расчетная и фактическая урожайность в 6 вариантах опыта
Table 2. Estimated and actual yield in 6 experimental options

Вариант	Среднее кол-во соцветий, шт.	Средний коэфф. плодоношения K_1	Расчетная урожайность с куста по формуле (1) (масса грозди 110 г), кг	Максимальные значения NDVI		Расчетная урожайность с куста по формуле (2), кг		Средняя расчетная урожайность U_{ndvi} (2), кг	Фактическая урожайность с куста (средняя масса грозди 110 г), кг
				7.06	27.06	7.06	27.06		
1	27	1,48	4,4	0,44	0,45	3,4	3,3	3,3	3,2
2	13	1,26	1,7	0,42	0,51	1,6	1,4	1,5	1,6
3	27	1,48	4,4	0,46	0,54	3,2	2,5	2,8	2,8
4	26	1,57	4,5	0,48	0,51	3,0	2,7	2,9	3,2
5	26	1,71	4,9	0,43	0,48	3,8	3,2	3,5	3,1
6	22	1,49	3,6	0,35	0,41	3,9	3,2	3,5	3,7
Среднее	23	1,50	3,9					2,9	2,9

На примере 1-го варианта опыта по 12 пикселям рассчитаны средние значения NDVI в разные даты вегетационного периода 2023 г.: 15.04 — 0,31, 3.05 — 0,29, 25.05 — 0,37, 7.06 — 0,42, 22.06 — 0,46, 6.08 — 0,34. Среднее значение ВИ NDVI было рассчитано для каждого из 6 вариантов опыта (площадь участка виноградного насаждения в 0,1 га содержит 480 кустов и соответствует изображению в 12 пикселей при разрешении одного пикселя 10 м²). Во всех 6 вариантах опыта проявилась вариабельность средних значений NDVI по фенофазам. Диапазон значений NDVI для 6 вариантов опыта: в фазе распускания — 0,25–0,28, в фазе цветения — 0,35–0,48, в фазе роста — 0,36–0,44, в фазе созревания — 0,26–0,42.

Существуют разные методы прогнозирования урожайности виноградного растения, среди которых наиболее эффективными являются методы биологического моделирования. Основными элементами плодоносности винограда являются количество побегов, оставляемых на кусте, процент плодоносных побегов, число гроздей на плодоносный побег и средняя масса грозди [16]. Коэффициентом плодоношения $K_{пл}$ характеризуется среднее число гроздей на один развившийся побег.

Структурная формула урожая винограда имеет вид:

$$U_c = N \times K_{пл} \times G / 1000, \quad (1)$$

где: N — количество побегов на кусте (нагрузка побегом); $K_{пл}$ — коэффициент плодоношения; G — средняя масса грозди сорта Шардоне, 110 г [17]; 1000 — делитель для пересчета граммов, кг.

Расчет урожайности с куста по формуле 1 в 6 вариантах опыта (по данным агробиологических наблюдений и результатам взвешивания) представлен в таблице 2.

Расчетная урожайность по формуле 1 превышает фактическую в 1,33 раза (в среднем). Значение ВИ в фенофазах цветения и роста можно использовать в формуле 1 в качестве поправочного коэффициента для расчета урожайности.

Пересчет расчетной урожайности с куста выполняется по формуле:

$$U_{ndvi} = (U_c)^{-Ln(NDVI_{max})}, \quad (2)$$

где: U_c — урожайность с куста, рассчитанная по формуле 1; $Ln(NDVI_{max})$ — поправочный коэффициент для прогнозируемой урожайности винограда, рассчитанный по максимальному значению NDVI в фенофазе цветения.

По 6 вариантам опыта расчетная урожайность по значениям ВИ имеет отклонение в пределах до 0,7 кг с куста 7 июня и -0,1–0,5 кг с куста 27 июня, а в среднем отклонение по двум пиковым значениям NDVI составило 0,1–0,3 кг от фактической урожайности. Среднее значение уточненной расчетной урожайности по ВИ составило 2,9 кг с куста, что соответствует среднему значению фактической урожайности в 2,9 кг с куста по 6 вариантам опыта. Для всего виноградного насаждения средняя расчетная урожайность по формуле 2 составила 117 ц/га.

Использование ВИ NDVI в фенофазах цветения и роста, рассчитанного по снимкам с разрешением в 10 м/пиксель, позволяет с высокой точностью рассчитать урожайность виноградного насаждения сорта Шардоне по почвенно-климатическим микроразонам поля.

Выводы/Conclusions

На основе значений ВИ определены оптимальные фенологические периоды виноградного насаждения для расчета прогнозируемой урожайности. Наличие тесной связи между индексами вегетации, густотой кроны и урожайностью позволяет по мультиспектральным космическим снимкам определить силу развития виноградных растений в фенологические периоды.

Таким образом, разработанный метод оценки прогнозируемой урожайности на основе ВИ NDVI виноградного растения в фенофазах цветения и роста позволяет рассчитывать прогнозируемую урожайность с высокой точностью по отношению к фактической.

Предложенный алгоритм расчета прогнозируемой урожайности виноградного насаждения по ВИ NDVI добавлен в программу для ЭВМ «Прогнозирование урожайности сортов винограда»⁴ для корректировки расчетной урожайности.

⁴ Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023660076. Регистрация в реестре программ для ЭВМ 17 мая 2023 г. Прогнозирование урожайности сортов винограда. Лукьянов А.А., Орлов В.А.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гришин И.Ю., Тимиргалеева Р.Р. Методологические аспекты формирования системы дистанционной диагностики состояния виноградных агроценозов Крыма. Севастополь: *Филиал МГУ в г. Севастополе*. 2023; 208. ISBN 978-5-907477-77-3. <https://doi.org/10.35103/SMSU.2022.14.17.001>
2. Рыбалко Е.А. и др. Организация работы с данными наземных и дистанционных наблюдений для решения задач дистанционного мониторинга виноградников. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2016; 13(1): 79–92. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2016-13-1-79-92>
3. Matese A., Di Gennaro S.F. Beyond the traditional NDVI index as a key factor to mainstream the use of UAV in precision viticulture. *Scientific Reports*. 2021; 11: 2721. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81652-3>
4. Амирджанов А.Г. Солнечная радиация и продуктивность виноградника. Л.: *Гидрометеиздат*. 1980; 208.
5. Sams B., Bramley R.G.V., Sanchez L., Dokoozlian N., Ford C., Pagay V. Remote Sensing, Yield, Physical Characteristics, and Fruit Composition Variability in Cabernet Sauvignon Vineyards. *American Journal of Enology and Viticulture*. 2022; 73(2): 93–105. <https://doi.org/10.5344/ajev.2021.21038>
6. Junges A.H., Fontana D.C., Lampugnani C.S. Relationship between the normalized difference vegetation index and leaf area in vineyards. *Bragantia*. 2019; 78(2): 297–305. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.2018168>
7. Devaux N., Crestey T., Leroux C., Tisseyre B. Potential of Sentinel-2 satellite images to monitor vine fields grown at a territorial scale. *OENO One*. 2019; 53(1): 51–58. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2019.53.1.2293>
8. Giovos R., Tassopoulos D., Kalivas D., Lougkos N., Priovolou A. Remote Sensing Vegetation Indices in Viticulture: A Critical Review. *Agriculture*. 2021; 11(5): 457. <https://doi.org/10.3390/agriculture11050457>
9. Diago M.P., Aquino A., Millan B., Palacios F., Tardaguila J. On-the-go assessment of vineyard canopy porosity, bunch and leaf exposure by image analysis. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 2019; 25(3): 363–374. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12404>
10. Kasimati A. et al. Investigation of the similarities between NDVI maps from different proximal and remote sensing platforms in explaining vineyard variability. *Precision Agriculture*. 2023; 24(4): 1220–40. <https://doi.org/10.1007/s11119-022-09984-2>
11. Семенова К.С. Обоснование использования вегетационного индекса NDVI как основного показателя мониторинга состояния сельскохозяйственных земель. *Материалы Международной научной конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 135-летию со дня рождения А.Н. Костякова*. М.: Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева. 2022; 1: 44–48. <https://www.elibrary.ru/lvyfkh>
12. Демишева Е.Н. Оценка взаимосвязи вегетационного индекса NDVI и температуры поверхности земли по данным дистанционного зондирования. *Труды Поволжского государственного технологического университета. Серия: Технологическая*. 2016; (4): 10–16. <https://www.elibrary.ru/whwpsz>
13. Орлов В.А., Лукьянов А.А. Оценочные признаки виноградопригодных земель по спектральным паттернам. *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2023; 18(1): 29–37. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2023-29-36>
14. Жуков В.Д., Шеуджен З.Р. Повышение эффективности систем земледелия в Краснодарском крае. *Научный журнал КубГАУ*. 2019; 151: 104–115. <https://doi.org/10.21515/1990-4665-151-010>
15. Бейбулатов М.Р. Модификация формулы для расчета нагрузки виноградного куста глазками. *Плодоводство и виноградарство юга России*. 2013; 24: 68–74. <https://www.elibrary.ru/rkofnp>
16. Гусейнов Ш.Н., Чигрик Б.В., Гордеева Н.Г. Ресурсы повышения генетического потенциала у стародавних классических сортов винограда. *Плодоводство и виноградарство юга России*. 2009; 1: 14–22. <https://www.elibrary.ru/mzjhuv>

ОБ АВТОРАХ

- Виталий Александрович Орлов**
кандидат сельскохозяйственных наук,
старший научный сотрудник
vitorl@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3337-2970>
- Алексей Александрович Лукьянов**
кандидат сельскохозяйственных наук,
старший научный сотрудник
azosviv@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7317-9150>

Анапская зональная опытная станция виноградарства и виноделия — филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства и виноделия», Пионерский пр-т, 36, Анапа, 353456, Россия

REFERENCES

1. Grishin I.Yu., Timirgaleeva R.R. Methodological aspects of the formation of a system for remote diagnostics of the state of grape agroecosystems in the Crimea. Sevastopol: *Branch of Moscow State University in Sevastopol*. 2023; 208 (in Russian). ISBN 978-5-907477-77-3. <https://doi.org/10.35103/SMSU.2022.14.17.001>
2. Rybalko E.A. et al. Management of ground and remote sensing data for remote monitoring of vineyards. *Current problems in remote sensing of the Earth from space*. 2016; 13(1): 79–92 (in Russian). <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2016-13-1-79-92>
3. Matese A., Di Gennaro S.F. Beyond the traditional NDVI index as a key factor to mainstream the use of UAV in precision viticulture. *Scientific Reports*. 2021; 11: 2721. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81652-3>
4. Amirdzhanov A.G. Solar radiation and vineyard productivity. Leningrad: *Gidrometeoizdat*. 1980; 208 (in Russian).
5. Sams B., Bramley R.G.V., Sanchez L., Dokoozlian N., Ford C., Pagay V. Remote Sensing, Yield, Physical Characteristics, and Fruit Composition Variability in Cabernet Sauvignon Vineyards. *American Journal of Enology and Viticulture*. 2022; 73(2): 93–105. <https://doi.org/10.5344/ajev.2021.21038>
6. Junges A.H., Fontana D.C., Lampugnani C.S. Relationship between the normalized difference vegetation index and leaf area in vineyards. *Bragantia*. 2019; 78(2): 297–305. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.2018168>
7. Devaux N., Crestey T., Leroux C., Tisseyre B. Potential of Sentinel-2 satellite images to monitor vine fields grown at a territorial scale. *OENO One*. 2019; 53(1): 51–58. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2019.53.1.2293>
8. Giovos R., Tassopoulos D., Kalivas D., Lougkos N., Priovolou A. Remote Sensing Vegetation Indices in Viticulture: A Critical Review. *Agriculture*. 2021; 11(5): 457. <https://doi.org/10.3390/agriculture11050457>
9. Diago M.P., Aquino A., Millan B., Palacios F., Tardaguila J. On-the-go assessment of vineyard canopy porosity, bunch and leaf exposure by image analysis. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 2019; 25(3): 363–374. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12404>
10. Kasimati A. et al. Investigation of the similarities between NDVI maps from different proximal and remote sensing platforms in explaining vineyard variability. *Precision Agriculture*. 2023; 24(4): 1220–40. <https://doi.org/10.1007/s11119-022-09984-2>
11. Semenova K.S. Rationale for using the NDVI vegetation index as the main indicator for monitoring the condition of agricultural lands. *Proceedings of the International Scientific Conference of Young Scientists and Specialists, dedicated to the 135th anniversary of the birth of A.N. Kostyakov*. Moscow: Russian State Agrarian University — Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev. 2022; 1: 44–48 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/lvyfkh>
12. Demisheva E.N. Assessment of the relationship between Normalized difference vegetation index and land surface temperature using remote sensing data. *Trudy Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya Tekhnologicheskaya*. 2016; (4): 10–16 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/whwpsz>
13. Orlov V.A., Lukyanov A.A. Evaluation of signs of viney land by spectral patterns. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2023; 18(1): 29–37 (in Russian). <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2023-29-36>
14. Zhukov V.D., Scheudgen Z.R. Improving the efficiency of agriculture systems in the Krasnodar region. *Scientific Journal of KubSAU*. 2019; 151: 104–115 (in Russian). <https://doi.org/10.21515/1990-4665-151-010>
15. Beibulatov M.R. Modification of the formula for calculating of buds load of grapes bushes. *Fruit growing and viticulture of South Russia*. 2013; 24: 68–74 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/rkofnp>
16. Guseynov Sh.N., Chigrik B.V., Gordееva N.G. Resources of increase of genetic potential at age-old classical grades of grapes. *Fruit growing and viticulture of South Russia*. 2009; 1: 14–22 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/mzjhuv>

ABOUT THE AUTHORS

- Vitaly Aleksandrovich Orlov**
Candidate of Agricultural Sciences,
Senior Researcher
vitorl@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3337-2970>
- Aleksei Aleksandrovich Lukyanov**
Candidate of Agricultural Sciences,
Senior Researcher
azosviv@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7317-9150>

Anapa Zonal Experimental Station of Viticulture and Winemaking — Branch of the Federal State Budget Scientific Institution «North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making», 36 Pionersky Prospekt, Anapa, 353456, Russia