

УДК 634.8

DOI 10.30679/2219-5335-2022-6-78-248-262

**МИКРОЗОНИРОВАНИЕ  
ВИНОГРАДНЫХ НАСАЖДЕНИЙ  
НА ОСНОВЕ РАЗНОСТНЫХ  
НОРМАЛИЗОВАННЫХ ИНДЕКСОВ  
ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ**

Орлов Виталий Александрович  
канд. с.-х. наук  
старший научный сотрудник  
лаборатории виноградарства  
и виноделия

Лукьянов Алексей Александрович  
канд. с.-х. наук  
старший научный сотрудник  
директор АЗОСВиВ

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

Цель исследования — определить принципы выделения микрозон виноградного насаждения по нормализованным индексам космоснимков в рамках концепции терруара (комплекса оптимальных почвенных, климатических факторов и особенностей местности для сортовых показателей вина). Микрозонирование виноградника может выполняться по физико-химическому составу почвы, температурным полям, влажности воздуха и почвы, морфометрии местности, экспозиции и уклону склонов. Использование спектральных данных о состоянии почвы, растений и окружающей среды позволяет оценивать параметры терруаров по разностным нормализованным индексам. На винограднике можно выделить микроучастки с различными терруарными свойствами, что проявляется в силе роста кустов, их урожайности и степени созревания винограда (по содержанию сахара, кислоты и pH) и отражается в сортовых показателях вина. Поэтому мультиспектральные космоснимки являются

UDC 634.8

DOI 10.30679/2219-5335-2022-6-78-248-262

**MICROZONING  
OF GRAPE PLANTATIONS  
ON THE BASIS OF DIFFERENCE  
NORMALIZED INDICES  
FROM SATELLITE IMAGES**

Orlov Vitalij Aleksandrovich  
Cand. Agr. Sci.  
Senior Research Associate  
of Viticulture and Wine-making  
Laboratory

Lukyanov Alexey Aleksandrovich  
Cand. Agr. Sci.  
Senior Research Associate  
Chief of AZESVW

*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*

The purpose of the study is to determine the principles for the allocation of microzones of grape plantations according to the normalized indices of satellite images within the framework of the concept of terroir (a set of optimal soil, climatic factors and terrain features for wine varietal indicators). Vineyard microzoning can be carried out according to the physical and chemical composition of the soil, temperature fields, air and soil humidity, terrain morphometry, exposure and slope grade. The use of spectral data on the state of soil, plants, and the environment makes it possible to evaluate the parameters of terroirs by difference normalized indices. In the vineyard, it is possible to distinguish micro-sites with different terroir properties, which is manifested in the growth force of the bushes, their yield capacity and the degree of ripening of the grapes (in terms of sugar, acid and pH) and is reflected

объективной основой для оценки и выделения микроучастков виноградника с различными терруарными свойствами. Достоверная интерпретация спектральных спутниковых снимков возможна при наличии опорных данных показателей почвы, силы роста кустов по фенофазам, проведенных агроработ на винограднике и междурядье, влажности почвы, воздуха. Совместный анализ спутниковых и наземных данных позволяет не только снизить количество маршрутно-полевых обследований и лабораторных анализов, но и оперативно принимать агроуправленческие решения по применению необходимых ресурсов. Для решения этой задачи можно использовать открытые спектральные данные со спутниковых платформ Sentinel-2 и Landsat-7-8 с периодичностью от 2 до 5 дней. Наличие прямой зависимости между влажностью почвы, площадью листовой поверхности и урожайностью, позволяет на основе нормализованных индексов вегетации NDVI, влажности почвы NDMI и других, определять оптимальные микроучастки качественного виноделия для виноградного насаждения.

*Ключевые слова:* МИКРОЗОНИРОВАНИЕ, ВИНОГРАД, ВИНОГРАДАРСТВО, ВЕГЕТАЦИОННЫЙ НОРМАЛИЗОВАННЫЙ ИНДЕКС, ТЕРРУАР, ВЛАЖНОСТЬ ЛИСТЬЕВ, СИЛА РОСТА КУСТА

in the varietal indicators of the wine. Therefore, multispectral satellite images are an objective basis for assessing and identifying vineyard micro-sites with different terroir properties. Reliable interpretation of spectral satellite images is possible in the presence of reference data on soil indicators, the growth force of bushes according to phenophases, agricultural work carried out in the vineyard and row spacing, soil and air moisture. The joint analysis of satellite and ground data allows not only to reduce the number of route and field surveys and laboratory analyzes, but also to quickly make agro-management decisions on the use of the necessary resources. To solve this problem, it is possible to use open spectral data from the Sentinel-2 and Landsat-7-8 satellite platforms with a frequency of 2 to 5 days. The presence of a direct relationship between soil moisture, leaf area and yield capacity allows to determine the optimal micro-sites of high-quality winemaking for vine plantations of one variety on the basis of normalized vegetation indices NDVI, soil moisture NDMI and others.

*Key words:* VINEYARD ZONING, GRAPES, VITICULTURE, VEGETATION NORMALIZED INDEX, TERROIR, LEAF MOISTURE, BUSH GROWTH FORCE

**Введение.** Факторы окружающей среды, почвенно-климатические условия на винограднике существенно влияют на качество урожая и вина. Виноделы утверждают, что с разных участков виноградника получаются вина разного вкуса. Различия в почвенно-климатических характеристиках виноградника с одним сортом – по микроклимату, уклонам, водоудерживающей способности, влияют на показатели сахара и кислотности год винограда, поэтому и вина с разных участков получатся с различным цветом, букетом, телом и др.

Виноградники, которые расположены в Анапской зоне, как правило, подразделяются на относительно большие поля – площадью от 40 до 100 га, и

могут содержать участки, неоднородные по почвенному покрову, причем чем сложнее рельеф, тем почвенная пестрота больше. Изучение изменчивости силы роста виноградного куста по разностным нормализованным индексам в пределах такой площади при разрешении космоснимка 15-30 м/пиксель ведется во многих исследовательских центрах виноградарства [1-14]. Визуализация микрозон виноградников производится на основе аэрокосмических данных дистанционного зондирования и географических информационных систем (ГИС). Для достоверного распознавания агрономических, экологических, микроклиматических и других различий микрозон необходимо не только визуально выделять отличительные признаки границ, но и иметь концептуальную модель градиентных полей виноградного насаждения одного сорта.

В проекте VINTAGE NASA (<https://vineview.com/data-products/vine-vigor-products/>) по управлению виноградниками применяется технология совместной обработки аэрокосмических снимков и ГИС-картирования для определения границ микрозон. На основе цифровых снимков виноградник разделяется на зоны (блоки) разной силы роста виноградного куста. Микрзоны по силе роста и скорости созревания винограда выделяют по значениям нормализованного разностного индекса вегетации (NDVI), который является относительным показателем густоты растительного покрова. NDVI – это расчет между ближним инфракрасным светом, отраженным растительностью, и видимым светом. Здоровые, более сильные лозы поглощают больше видимого света и отражают больше ближнего инфракрасного света. Менее сильные или редкие лозы отражают как видимый, так и ближний инфракрасный свет. NDVI был разработан, чтобы отличить живую растительность от других объектов земной поверхности – почвы, камней или сухой растительности. NDVI не может служить достоверным критерием при определении силы роста виноградного куста. Аэрокосмические снимки в зависимости от времени съемки и освещенности дают разные значения NDVI в течение дня

из-за затенения, влажности воздуха, отражательной способности почв и других шумов на снимке. Для корректировки значений NDVI применяется расширенный вегетационный индекс EVI. Использование дополнительных спектральных данных позволяет спектрально изолировать виноградную лозу от окружающей почвы и растительного покрова, то есть отсечь шум и оставить на снимке только данные о кроне виноградного куста [10].

Микрозонирование местности по индексам влажности почвы и оценка признаков развитости виноградного растительного покрова по вегетационным индексам на основе теории «терруара» позволят оптимизировать агрономические мероприятия и, в конечном счете, получать более стабильные количественные и качественные характеристики урожая. Градиентный анализ спектральных индексов позволяет соотнести оценочные признаки силы роста виноградного куста со значениями индексов вегетации и влажности почвы в различные периоды фенофаз.

**Объекты и методы исследования.** Микрозонирование виноградных насаждений на участки с терруарными свойствами на основе их спектральных характеристик стало возможным в результате интеграции дистанционных и наземных методов исследований на основе геоинформационных технологий [6]. Такие градиенты местности, как физико-химический состав почвы, температурные поля, влажность воздуха и почвы, морфометрия и уклоны склонов позволяют определить паттерны терруаров через количественные и качественные характеристики виноградных участков. Алгоритм классификации виноградников Южного берега Крыма по индексу NDVI позволил определить границы и варианты групп виноградников на площади в 1700 га [7]. Оценка свойств почвы по ее спектральным сигналам возникла как малозатратная альтернатива традиционным методам. Точность классификации почв по индексам vis-NIRS совместно с наземными исследованиями по цвету, содержанию органического вещества, структуре и кислотности почвы составляет 68 %, а при использовании только спектральных данных 61 % [8, 9].

Имеющиеся в открытом доступе космические снимки с разрешением 20 м на пиксель со спутника Sentinel-2 могут использоваться для создания почвенных карт. Точность цифровых почвенных карт составляет: для структурных фракций – 6-11 %, для кислотности pH – 0,7 [10, 11]. Для оценки качества почвы используют индекс SQI, который рассчитывается по комбинированным спектральным данным Vis-NIRS (350–2500 нм) [12]. На основе данных анализа почвенных проб и координат точек их отбора строится электронная почвенная карта. На эту основу накладывается слоями дополнительная информация по почвенным индексам, NDVI и др., картограммы водотоков и экспликация склонов [13]. В результате анализа данных производится зонирование поля по уровням плодородия почв [14]. В современной концепции терруара почва как основной фактор рассматривается совместно во взаимодействии с окружающей средой. Во многих странах высококачественные вина получают из винограда, выращенного на самых разных почвах. Поэтому трудно определить лучшую почву с точки зрения структуры, глубины или содержания минералов. Заметное влияние на силу развития кустов винограда оказывают водоудерживающая и фильтрационная способности почвы. Эти свойства почвы влияют на уровень влагообеспеченности и водный потенциал листьев винограда ( $\psi$ ). Свойство конкретного терруара проявляется в стиле и качестве вина через водный баланс почвы и виноградного куста. Физический состав почвы определяет влагообеспеченность виноградного куста. Участки виноградника, которые быстрее теряют водонасыщенность в конце сезона вегетации, более пригодны для виноградных насаждений. В многочисленных вегетационных и полевых опытах доказано, что внесение удобрений снижает расход воды на создание единицы продукции. Поэтому высокое плодородие почвы является фактором для невысокого коэффициента водопотребления [15]. Плохой дренаж и переувлажнение виноградных насаждений замедляют рост виноградной лозы, а в засушливых регионах значительно увеличивают накопление солей в корневой

зоне. Это происходит из-за недостаточного выщелачивания солей, выпадающих в осадок при испарении воды [16]. Уклон участка также является важным свойством терруара, он определяет поверхностный сток и дренирование почвенного слоя, интенсивность эрозии, мощность почвенного профиля, поступление солнечных лучей, микроклимат участка.

Водный режим влияет на спектральные характеристики листа – пигментный комплекс, содержание каротиноидов и оводненность листьев таких сортов винограда, как Кристалл, Достойный, Восторг, Алиготе, Красно-стоп АЗОС, Зариф, которые меняются на протяжении всего летнего вегетационного периода: в июньскую засуху снижалось содержание суммы хлорофиллов, при хорошей влагообеспеченности в июле у всех сортов понижалась оводненность, а содержание каротиноидов увеличивалось, в августе повысился показатель содержания суммы хлорофиллов и каротиноидов [17-19]. 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 [20]. 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 постоянны и определяют агроэкологические показатели виноградных насаждений.

Снижение влажности почвы в корнеобитаемом слое в течении вегетационного периода происходит от максимальных значений весной до минимальных в начале осени [21]. Наличие зависимости между влажностью почвы, площадью листовой поверхности и силой роста побегов винограда позволяет на основе нормализованных индексов вегетации и влажности

почвы выделять участки виноградного насаждения по силе роста куста и листовой поверхности [22]. Проверка и корректировка спектральных данных по контрольным точкам в местах изменения уклонов, влажности и структуры почвы виноградника позволит создать картографическую базу паттернов терруарных участков. Для оценки неоднородности виноградного насаждения по силе роста кустов используют стандартное отклонение вегетационных индексов и данные наземных полевых исследований почвенного разнообразия. Анализ спектральных данных нормализованных индексов с периодичностью от 3 до 7 дней [23].

**Обсуждение результатов.** Для выделения микрзон качественного виноделия по степени экологической устойчивости винограда учитывалось 50 экологических показателей, сгруппированных в блоки: почвенный – 30, орографический – 10, климатический – 10. По степени экологического соответствия определялись микрзоны участков для существующих виноградных насаждений. Для основных почв – черноземы и дерново-карбонатные почвы были разработаны ранги оптимальных свойств земель: 1) экспозиция склона, 2) температура июля, 3) сумма осадков за год, 4) сумма активных температур, 5) уклон, 6) абсолютная высота местности, 7) гранулометрический состав почв, 8) мощность мелкоземистой толщи почвы, 9) pH почвы, 10) степень эродированности почвы, 11) степень солонцеватости почвы, 12) содержание гумуса (слой 0-60 см), 13) уровень грунтовых вод, 14) степень гидроморфности почв. Корреляционные связи между агрохимическими показателями почвенной среды (уровень pH, плотный остаток (%), сумма ионов водной вытяжки (хлор ион, щелочность, ион кальция, ион магния, мг-экв. на 100 г почвы), общие карбонаты (%), активные карбонаты (%), нитратный азот (мг/100 г почвы), подвижный фосфор (мг/100 г почвы), обменный калий (мг/100 г почвы), гумус (%), запасы гумуса (т/га)) и качественными показате-

лями вина сорта Каберне Совиньон оказались либо слабыми, либо отсутствовали при благоприятных погодных условиях, но проявлялись при неблагоприятных [24]. В практическом плане полевой сбор данных представляет трудоемкий и медленный процесс при обследовании виноградников. Наличие тесной связи между индексами вегетации, влажностью почвы, силой роста куста, густотой кроны и цветовой пигментацией листьев и урожайностью позволяет по космическим снимкам выделить микрзоны качественного виноделия (терруары), что значительно удешевляет сбор данных и повышает оперативность принятия агрономических решений. Так, на рисунке 1 А изображен космоснимок поля площадью 25 га, сделанный в 2019 году в летний промежуток времени.

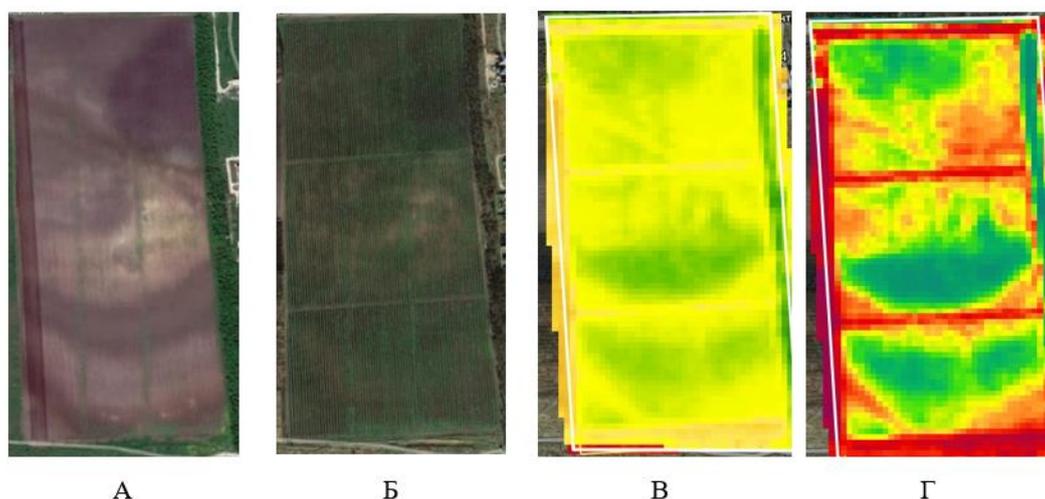
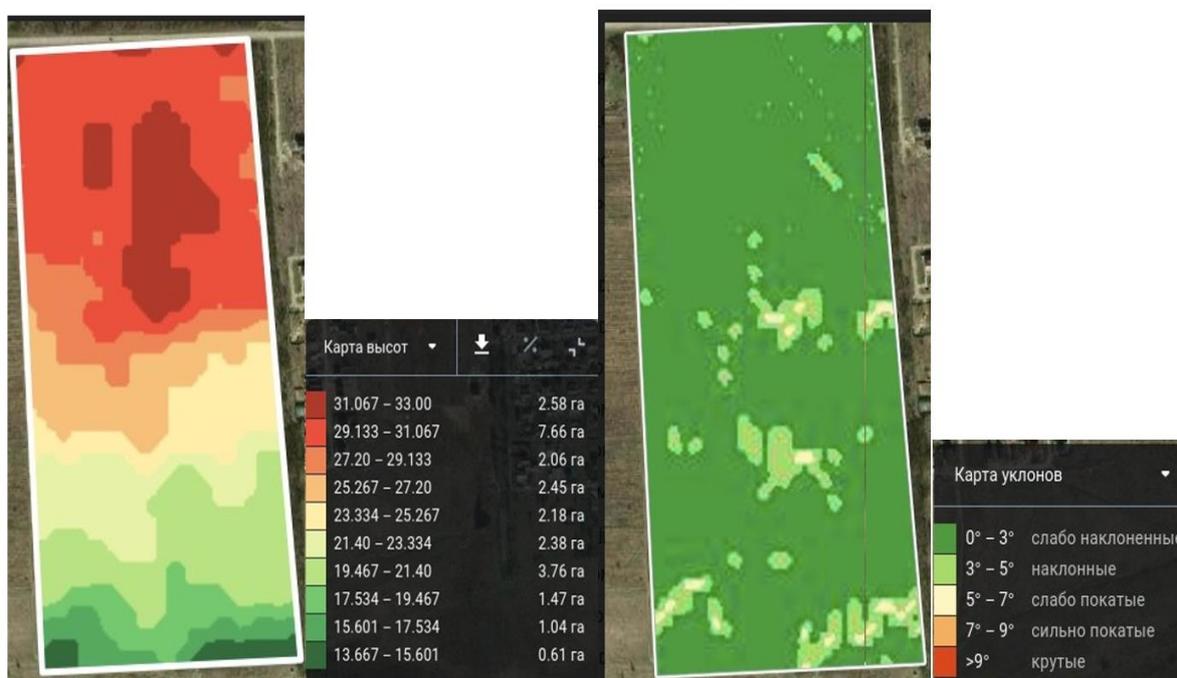


Рис. 1. Космоснимки виноградных насаждений:

А – космоснимок 2019 г, Б – виноградник в естественном цвете (27.09.2022),  
В – средний NDVI = 0,35, Г – контрастный NDVI 27.09.2022: красный – 0,21-0,39  
(низкий уровень вегетации); желтый – 0,40-0,42 (угнетенная вегетация);  
зеленый – 0,43-0,55 (сильная вегетация)

Важно отметить, что почва находится «под паром», то есть проведена механическая обработка почвы и на данный момент на поверхности почвы почти полностью отсутствуют зеленые растения. Данный уровень качества снимка позволяет специалисту выделить на участке несколько зон, визуально отличных друг от друга. При должной квалификации и значительном

опыте специалист почвовед может нанести на данный снимок границы зон различимых почвенных разностей. На рисунке 1Б изображен снимок виноградника в 2022 году, на нем также определяются почвенные отличия участков вегетирующих виноградных насаждений, на рисунке 1В – изображение индекса вегетации в средних значениях повторяет почвенные различия снимка на рисунке 1А, на рисунке 1Г – в контрастных значениях индекса на 80-90 % повторяет почвенные различия участков снимка А. Разнообразие почвенных характеристик данного виноградника во многом определяется рельефными особенностями: высотами и уклонами поля (рис. 2).



А Б  
Рис. 2. Карты высот и уклонов исследуемого поля

На рисунке 3 изображен NDVI – нормализованный разностный индекс вегетации. Индекс позволяет выявить проблемные участки поля на разных стадиях роста растений для своевременного реагирования.

Значения NDVI колеблются от -1 до 1. Отрицательные значения соответствуют участкам с водными поверхностями; почва, находящаяся под па-

ром, обычно находится в пределах 0,1-0,2; растения всегда имеют положительные значения между 0,2 и 1.

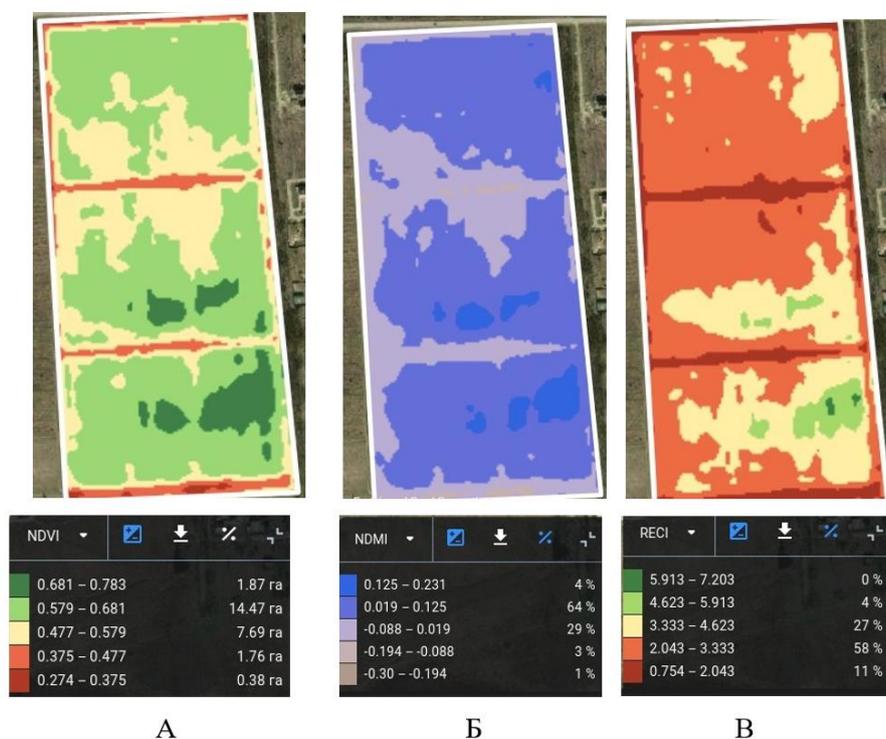


Рис. 3. Варианты нормализованного разностного индекса по каналам съемки спутника Landsat 8, конец августа 2021 года:  
А – NDVI; Б – NDMI; В – RECI

Здоровый густой растительный покров должен быть выше 0,5, а редкая растительность будет находиться в пределах от 0,2 до 0,5. Однако, это всего лишь эмпирическое правило – надо учитывать сезон, силу роста растения, чтобы понимать, что означают значения NDVI. На рис. 3А 2 га – это оголенные участки почвы, 7,7 га светло-желтого цвета со значениями в диапазоне 0,4-0,6 соответствуют участкам с изреженными кустами (рис. 4А), 14,5 га – 0,6-0,7 соответствуют участкам с нормально развитыми кустами (рис. 4Б) и 1,9 га – участки с сильно развитыми кустами (рис. 4 В).

NDMI – нормализованный разностный индекс влажности определяет уровень содержания влаги в растениях, значения варьируются от -1 до 1, и каждое значение соответствует разной агрономической ситуации NDMI: как видно на рисунке 3 Б, основная площадь – 64 % виноградника – имеет значение

0,019-0,125, что соответствует нормальной увлажненности для виноградника, а 4 % площади виноградника переувлажнены – темно-синий цвет на рисунке 3 Б.

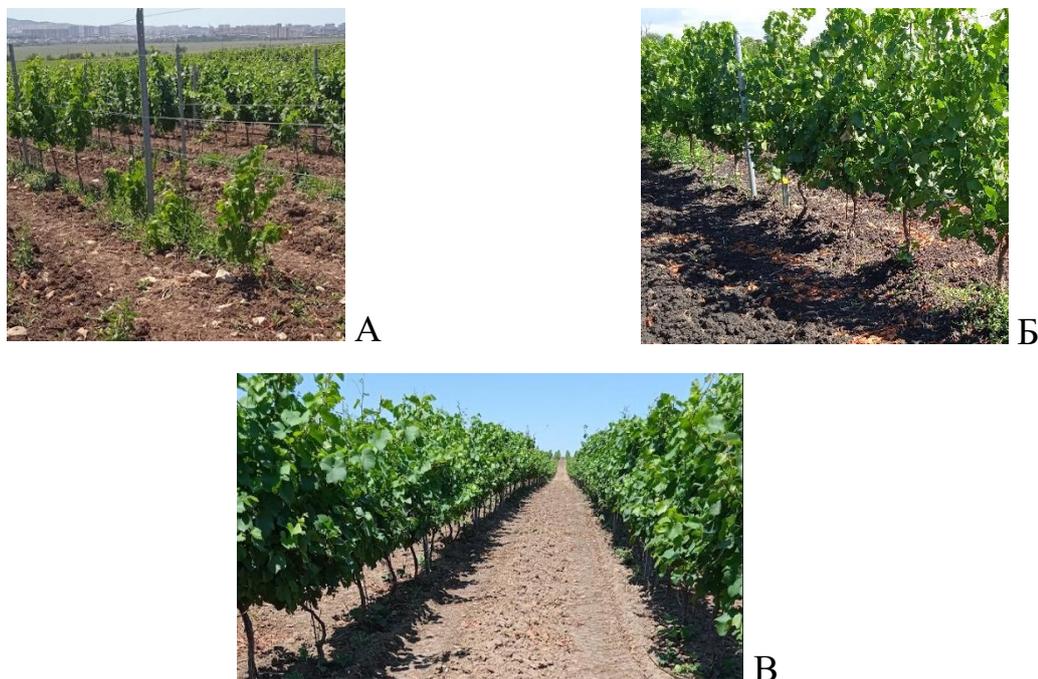


Рис. 4. Участок сильно развитых кустов

ReCI – показатель фотосинтетической активности растительного покрова, чувствительный к содержанию хлорофилла в листьях. Данный показатель очень вариабилен и может менять свое значение в зависимости от влажности воздуха, осадков, облачности. Но по нему можно судить о стрессе листьев. Желтый и розовый цвет на рис. 3 В, снятом в конце августа, соответствуют нормальному развитию куста – 27 % и 58 % кустов, соответственно. Коричневый цвет – 11 % кустов – имеют сниженный показатель хлорофилла и светло-зеленый цвет – 4 % – повышенный.

Картографическое микрозонирование виноградного насаждения по нормализованным индексам позволяет оперативно и без больших трудозатрат получать информацию о состоянии различных участков, вовремя принимать соответствующие агрономические решения и дифференцировано подходить к расходу ресурсов, уборке урожая и производству вина по терруарному принципу.

**Выводы.** Таким образом, при использовании нормализованных индексов космических снимков для картирования микрозон участков виноградного насаждения с терруарными свойствами достаточно изучить несколько параметров поля: из морфометрических – картограмму водотоков и уклонов, значения почвенного индекса участков за вегетационный период, значения индекса влажности, а из агробиологических показателей – водный потенциал листьев по вегетационному индексу содержания хлорофилла.

При оценке спектральных характеристик виноградных насаждений определили три основных признака, несущих информацию о состоянии растительного покрова: индекс яркости почв, индекс зеленой растительности, индекс влажности почв. Космические снимки с низким 20-30 м или средним 10-15 м разрешением в сочетании с полевой проверкой могут применяться для микрозонирования виноградных насаждений по терруарным признакам. Вариабельность значений нормализованных индексов в течение вегетационного периода в определенных диапазонах отражает процессы, влияющие на силу роста виноградного куста и его урожайность, отклонения в его развитии.

#### Литература

1. Acevedo-opazo, C., Tisseyre, B., Guillaume, S., Ojeda, H. Test of NDVI information for a relevant vineyard zoning related to vine water status. Precision Agriculture 2007 - Papers Presented at the 6th European Conference on Precision Agriculture, ECPA 2007.
2. Albornoz L., Plaza L.R., Navarro A., López M., Bageta M., Mercado L. Vineyard zoning of cv Bonarda argentine (*Vitis vinifera* L.), from Sentinel satellite images and three vegetation indexes / Rev. Fac. Cienc. Agrar., Univ. Nac. Cuyo [online]. 2019, vol.51, n.2, pp.167-176. ISSN 1853-8665. <https://doaj.org/article/bbd1e0ea9e9f47229a53f4b32e88a349>
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. Sci Rep 11, 2721 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81652-3>.
4. Larry E. Williams, Alexander D. Levin, and Matthew W. Fidelibus. "Crop Coefficients (kc) Developed from Canopy Shaded Area In California Vineyards." Agricultural water management, v. 271, pp. 107771. doi: 10.1016/j.agwat.2022.107771 Evans, R.G., S.E. Spayd, R.L. Wample, M.W. Kroeger, and M.O. Mahan. 1993. Water use of *Vitis vinifera* grapes in Washington. Agricultural Water Management. 23(2):109-124.
5. Álvaro Martínez, A., Gómez-Miguel, V.D. Caracterización del terroir: influencia en la composición de la uva y relación con el NDVI dentro de la D.O.Ca.Rioja / Terroir characterization: influence on grape composition and relationship with NDVI within D.O.Ca.Rioja // Published online: 22 August 2018/. DOI: 10.1051/e3sconf/20185001009.

6. Орлов В. А., Лукьянов А. А. Элементы цифровизации виноградных насаждений на основе геоинформационной системы [Электронный ресурс] // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2022. № 73(1). С. 14-27. URL: <http://journalkubansad.ru/pdf/22/01/02.pdf>. DOI: 10.30679/2219-5335-2022-1-73-14-27.

7. Организация работы с данными наземных и дистанционных наблюдений для решения задач дистанционного мониторинга виноградников / Е.А. Рыбалко [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 1. С. 79-92.

8. Gozukara G., Acar M., Ozlu E., Dengiz O., Hartemink A.E., Zhang Y. A soil quality index using Vis-NIR and pXRF spectra of a soil profile Publication: CATENA Publisher: Elsevier Date: April 2022 <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105954>.

9. Songchao Chen, Wanzhu Ma, Dongyun Xu, Shuo Li, Wenjun Ji, et al. Soil classification of multihorizontal profiles using support vector machines and vis-NIR spectroscopy. *Pedometrics* 2017, Jun 2017, Wageningen, Netherlands. 298 p. [ffhal-01606621f](https://doi.org/10.1016/j.pedometrics.2017.06.001).

10. 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> Paul W. Skinner A. New, Improved Level of Soil Mapping Apr 2006 Issue of Wine Business Monthly <https://www.winebusiness.com/wbm/?go=getArticleSignIn&dataId=42977>.

11. Lagacherie P., McBratney A.B., Voltz M. Digital Soil Mapping. An Introductory Perspective. Volume 31, Pages 1-600 (2006).

12. Kaupenjohann M., Wessolek G., Kaufmann H., Kleinschmit B. Multitemporal Soil Pattern Analysis for Organic Matter Estimation on Arable Fields using Multispectral Satellite Data Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 09. Mai 2017 Berlin 2017.

13. Brian J. Sommers The Geography of Wine: How Landscapes, Cultures, Terroir, and the Weather Make a Good Drop // *Southeastern Geographer*. 2014. 54(1): 86-88. DOI:10.1353/sgo.2014.0004.

14. Jakubowski R. The Basics of GIS and NDVI and Their Use in the Vineyard 2018 LERGP: Lake Erie Regional Grape Program at CLEREL – Cornell University / <https://lergp.com>.

15. Bamberger U. Wasserdefizit im Boden – Folgen für den Wein? In: *Deutsches Weinbaujahrbuch 2008*. Verlag Ulmer, Stuttgart, ISBN 978-3-8001-5574-3, S. 130-133.

16. Wenjun Ji, Viacheslav Adamchuk, Songchao Chen, Asim Biswas, Maxime Leclerc, Raphael Viscarra Rossel. The use of proximal soil sensor data fusion and digital soil mapping for precision agriculture HAL Id: hal-01601278 <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01601278> Submitted on 2 Jun 2020.

17. Устойчивость сортов винограда к засухе в условиях Анапо-Таманской зоны / Н.И. Ненько [и др.] // *Вестник Российской сельскохозяйственной науки*. 2019. № 5. С. 45-51.

18. Устойчивость сортов винограда различного эколого-географического происхождения к повышенным температурам и засухе / Н.И. Ненько [и др.]. *Научные труды СКФНЦСВВ*. Том 28. Краснодар: СКФНЦСВВ, 2020. С. 105-111.

19. Матузок Н.В., Кузьмина Т. И., Радчевский П.П. Влияние сортовых особенностей винограда различного происхождения на водный потенциал листьев и площадь листовой поверхности в условиях Тамани. *Научный журнал КубГАУ*. 2013. №92 (08). С. 2-11.

20. Хисамутдинов А.Ф. Водные стрессовые явления на виноградниках // *Методы и способы повышения стрессоустойчивости плодовых культур и винограда*. Краснодар: СКЗНИИСиВ, 2009. С. 84-94.

21. Мамбетов Б.Т., Майсупова Б.Д. Система обработки почвы и динамика влажности почв за вегетационный период. // Почвоведение и агрохимия. 2013. № 2. С. 20-22.
22. Sams B., Bramley R.G.V., Sanchez L., Dokoozlian N., Christopher Ford Ch., Vitic V. Remote Sensing, Yield, Physical Characteristics, and Fruit Composition Variability in Cabernet Sauvignon Vineyards. April 2022 73: 93-105; published ahead of print February 24, 2022; DOI: 10.5344/ajev.2021.21038 American Society for Enology and Viticulture.
23. Шукилович А.Ю., Федотова Е.В., Маглинец Ю.А. Применение сенсора MODIS для оперативного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли: материалы II Междунар. науч. конференция (22-25 сентября 2015, г. Красноярск.). Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2015. С. 350-353.
24. Лукьянов А.А., Антоненко М.В., Гапоненко Ю.В., Гонтарева Е.Н. Влияние факторов среды ампелоценоза на формирование качественных показателей вина // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 112. С. 1224-1235.

### References

1. Acevedo-opazo, C., Tisseyre, B., Guillaume, S., Ojeda, H. Test of NDVI information for a relevant vineyard zoning related to vine water status. Precision Agriculture 2007 - Papers Presented at the 6th European Conference on Precision Agriculture, ECPA 2007.
2. Albornoz L., Plaza L.R., Navarro A., López M., Bageta M., Mercado L. Vineyard zoning of cv Bonarda argentine (*Vitis vinifera* L.), from Sentinel satellite images and three vegetation indexes / Rev. Fac. Cienc. Agrar., Univ. Nac. Cuyo [online]. 2019, vol.51, n.2, pp.167-176. ISSN 1853-8665. <https://doaj.org/article/bbd1e0ea9e9f47229a53f4b32e88a349>.
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. Sci Rep 11, 2721 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81652-3>.
4. Larry E. Williams, Alexander D. Levin, and Matthew W. Fidelibus. \"Crop Coefficients (kc) Developed from Canopy Shaded Area In California Vineyards.\" Agricultural water management, v. 271, pp. 107771. doi: 10.1016/j.agwat.2022.107771 Evans, R.G., S.E. Spayd, R.L. Wample, M.W. Kroeger, and M.O. Mahan. 1993. Water use of *Vitis vinifera* grapes in Washington. Agricultural Water Management. 23(2):109-124.
5. Álvaro Martínez, A., Gómez-Miguel, V.D. Caracterización del terroir: influencia en la composición de la uva y relación con el NDVI dentro de la D.O.Ca.Rioja / Terroir characterization: influence on grape composition and relationship with NDVI within D.O.Ca.Rioja // Published online: 22 August 2018/. DOI: 10.1051/e3sconf/20185001009.
6. Orlov V. A., Luk'yanov A. A. Elementy cifrovizacii vinogradnyh nasazhdenij na osnove geoinformacionnoj sistemy [Elektronnyj resurs] // Plodovodstvo i vinogradarstvo Yuga Rossii. 2022. № 73(1). S. 14-27. URL: <http://journalkubansad.ru/pdf/22/01/02.pdf>. DOI: 10.30679/2219-5335-2022-1-73-14-27.
7. Organizaciya raboty s dannymi nazemnyh i distancionnyh nablyudenij dlya resheniya zadach distancionnogo monitoringa vinogradnikov / E.A. Rybalko [i dr.] // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2016. T. 13. № 1. S. 79-92.
8. Gozukara G., Acar M., Ozlu E., Dengiz O., Hartemink A.E., Zhang Y. A soil quality index using Vis-NIR and pXRF spectra of a soil profile Publication: CATENA Publisher: Elsevier Date: April 2022 <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105954>.
9. Songchao Chen, Wanzhu Ma, Dongyun Xu, Shuo Li, Wenjun Ji, et al. Soil classification of multihorizontal profiles using support vector machines and vis-NIR spectroscopy. Pedometrics 2017, Jun 2017, Wageningen, Netherlands. 298 p. fahal-01606621f.

10. 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> Paul W. Skinner A. New, Improved Level of Soil Mapping Apr 2006 Issue of Wine Business Monthly <https://www.winebusiness.com/wbm/?go=getArticleSignIn&dataId=42977>.

11. Lagacherie P., McBratney A.B., Voltz M. Digital Soil Mapping. An Introductory Perspective. Volume 31, Pages 1-600 (2006).

12. Kaupenjohann M., Wessolek G., Kaufmann H., Kleinschmit B. Multitemporal Soil Pattern Analysis for Organic Matter Estimation on Arable Fields using Multispectral Satellite Data Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 09. Mai 2017 Berlin 2017.

13. Brian J. Sommers The Geography of Wine: How Landscapes, Cultures, Terroir, and the Weather Make a Good Drop // *Southeastern Geographer*. 2014. 54(1):86-88. DOI:10.1353/sgo.2014.0004.

14. Jakubowski R. The Basics of GIS and NDVI and Their Use in the Vineyard 2018 LERGP: Lake Erie Regional Grape Program at CLEREL – Cornell University / <https://lergp.com>.

15. Bamberger U. Wasserdefizit im Boden – Folgen für den Wein? In: *Deutsches Weinbaujahrbuch 2008*. Verlag Ulmer, Stuttgart, ISBN 978-3-8001-5574-3, S. 130-133.

16. Wenjun Ji, Viacheslav Adamchuk, Songchao Chen, Asim Biswas, Maxime Leclerc, Raphael Viscarra Rossel. The use of proximal soil sensor data fusion and digital soil mapping for precision agriculture HAL Id: hal-01601278 <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01601278> Submitted on 2 Jun 2020

17. Ustojchivost' sortov vinograda k zasuhe v usloviyah Anapo-Tamanskoj zony / N.I. Nen'ko [i dr.] // *Vestnik Rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki*. 2019. № 5. S. 45-51.

18. Ustojchivost' sortov vinograda razlichnogo ekologo-geograficheskogo proiskhozhdeniya k povyshennym temperaturam i zasuhe / N.I. Nen'ko [i dr.]. *Nauchnye trudy SKFNCSVV*. Tom 28. Krasnodar: SKFNCSVV, 2020. S. 105-111.

19. Matuzok N.V., Kuz'mina T. I., Radchevskij P.P. Vliyanie sortovyh osobennostej vinograda razlichnogo proiskhozhdenie na vodnyj potencial list'ev i ploshchad' listovoj povernosti v usloviyah Tamani. *Nauchnyj zhurnal KubGAU*. 2013. №92(08). S. 2-11.

20. Hisamutdinov A.F. Vodnye stressovye yavleniya na vinogradnikah // *Metody i sposoby povysheniya stressoustojchivosti plodovyh kul'tur i vinograda*. Krasnodar: SKZNIISiV, 2009. S. 84-94.

21. Mambetov B.T., Majsupova B.D. Sistema obrabotki pochvy i dinamika vlazhnosti pochv za vegetacionnyj period. // *Pochvovedenie i agrohimiya*. 2013. № 2. S. 20-22.

22. Sams B., Bramley R.G.V., Sanchez L., Dokoozlian N., Christopher Ford Ch., Vitic V. Remote Sensing, Yield, Physical Characteristics, and Fruit Composition Variability in Cabernet Sauvignon Vineyards. *April 2022 73: 93-105*; published ahead of print February 24, 2022; DOI: 10.5344/ajev.2021.21038 *American Society for Enology and Viticulture*.

23. Shukilovich A.Yu., Fedotova E.V., Maglinec Yu.A. Primenenie sensora MODIS dlya operativnogo monitoringa zemel' sel'skohozyajstvennogo naznacheniya // *Regional'nye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli: materialy II Mezhdunar. nauch. konferenciya (22-25 sentyabrya 2015, g. Krasnoyarsk.)*. Krasnoyarsk: Sib. feder. un- t, 2015. S. 350-353.

24. Luk'yanov A.A., Antonenko M.V., Gaponenko Yu.V., Gontareva E.N. Vliyanie faktorov sredy ampelocenoza na formirovanie kachestvennyh pokazatelej vina // *Politematicheskij setevoy elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2015. № 112. S. 1224-1235.