

DOI

УДК 634.8:631.4

**ОЦЕНОЧНЫЕ ПРИЗНАКИ ВИНОГРАДОПРИГОДНЫХ ЗЕМЕЛЬ
ПО СПЕКТРАЛЬНЫМ ПАТТЕРНАМ****В. А. Орлов, А. А. Лукьянов**

Реферат. Исследования проводили с целью определения необходимой совокупности оценочных признаков виноградопригодных земель со свойствами терруара на основе обобщения литературных источников и постановки полевого опыта по применению вегетационных спектральных индексов в виноградных насаждениях. Использование спектральных данных о состоянии почвы, растений и окружающей среды позволяет оценивать силу роста кустов и урожайность виноградников по разностным нормализованным индексам. Спектральный анализ виноградников по космоснимкам позволяет с периодичностью в 2...7 дней получать данные о вегетативной и влажностной изменчивости виноградных насаждений. Правильная интерпретация спектральных космоснимков возможна при их проверке в результате наземных исследований показателей почвы, вегетации кустов по фенофазам, влажности почвы, воздуха и листа. В перспективе верификация спутниковых и наземных данных позволит снизить объемы маршрутно-полевых обследований и лабораторных анализов. Для решения этой задачи спектральные данные с общедоступных спутниковых платформ Sentinel-2 и Landsat-8 должны быть откалиброваны по наземным образцам с пробных участков виноградопригодных земель с терруарными свойствами, которые определяются как спектральные паттерны (образцы) виноградников. Наличие зависимости между влажностью почвы, площадью листовой поверхности и урожайностью позволяет на основе нормализованных индексов вегетации (NDVI) и влажности почвы (NDMI) определять микроучастки виноградного насаждения с различной продуктивностью и качеством урожая. Микрозонирование местности по таким параметрам как физико-химический состав, влажность почвы, морфометрия, экспозиция и уклоны склонов позволяет выделять виноградопригодные участки со свойствами терруаров. Выделение границ и площадей виноградного насаждения с терруарными свойствами по спектральным растровым космоснимкам с векторизацией разностных почвенных слоев в геоинформационной системе позволяет оперативно оценивать виноградопригодные земли, продуктивность различных участков виноградного насаждения и оптимизировать агроработы в соответствии с прецизионным подходом в виноградарстве.

Ключевые слова: виноградник, виноградарство, вегетационные спектральные индексы, структура почвы, терруар, паттерн, сила роста куста.

Введение. На сегодняшний день пригодные для выращивания винограда земли есть в Крыму, Краснодарском и Ставропольском краях, Чеченской, Дагестанской, Кабардино-Балкарской и Карачаево-Черкесской Республиках, Ингушетии, Адыгее и Северной Осетии. Кроме того, виноградники можно встретить в Ростовской, Астраханской, Волгоградской и Саратовской областях. На Краснодарский край приходится треть виноградников всей России – около 28 тыс. га. Одним из основных подходов к определению виноградопригодности земельного участка выступает концепция терруара. С принятием Федерального закона № 468-ФЗ «О виноградарстве и виноделии в Российской Федерации» введено определение виноградно-винодельческого терруара, как ограниченной территории с одинаковыми географическими, климатическими и почвенными условиями, в границах которой применение одинаковых технологических приемов виноградарства и виноделия определяет особые органолептические характеристики винодельческой продукции [1]. Необходимо найти такие оценочные критерии терруарных свойств земельных участков, которые позволяют с высокой достоверностью выделять виноградопригодные земли под столовые и технические сорта винограда с учетом сроков вегетации. Терруарные свойства местности выступают первичным фактором,

определяющим сорто-подвойные комбинации винограда и технологии его возделывания. Оценочные признаки соотносятся со спектральными паттернами терруарных виноградников по значениям индексов вегетации и влажности почвы в периоды фенофаз. Под спектральным паттерном терруара понимается участок микрозоны с однородной структурой, тоном и цветом, который выделяется на фоне изображения в границах виноградного насаждения.

Изучение почвенно-экологических и климатологических параметров местности на основе их спектральных характеристик стало возможным в результате интеграции дистанционных и наземных методов исследований на основе геоинформационных технологий [2]. Так, на базе сервиса «Vega-Science» (<http://sci-vega.ru/>) учеными ФГБУН «ВНИИВиВ «Магарач» РАН был разработан алгоритм классификации виноградников Южного берега Крыма по индексу NDVI на общей площади виноградных насаждений более 1700 га [3], с использованием которого они определили границы и составили варианты групп виноградников. По данным турецких и канадских исследователей [4, 5], использование спектрометров видимого ближнего инфракрасного диапазона (vis-NIR) с высоким и средним разрешением от 2 до 15 м на пиксель служит оперативным и недорогим

методом сбора информации о почве. Эффективность классификации почв по индексам vis-NIR и таким признакам как цвет, органическое вещество, структура и pH почвы при высоком разрешении снимка составляет 68%, при среднем разрешении – 64%, а при использовании только спектральных данных – 61 и 59% соответственно.

Мультиспектральные снимки с разрешением 10...60 м на пиксель с космических сканеров Sentinel-2 и Landsat-8 используют для создания цифровых почвенных карт. На основе таких снимков и баз данных почвенных образцов, разрабатывают цифровые карты с точностью 0,43% по содержанию органического углерода в почве и 6...11% для структурных фракций [6]. Для оценки качества почвы используют индекс SQI, который рассчитывается по комбинированным спектральным данным Vis-NIR (350...2500 нм) и pXRF (0...8 и 0...45 кВ). Индекс SQI отражает изменения свойств почвы по вертикальным и горизонтальным профилям [7]. Цифровое картографирование почв основано на растровой концепции модели почвенного профиля, обработки баз данных почв, методах отбора проб, определении пространственных ковариатов почв, количественном пространственном моделировании [8]. На основе результатов анализа почвенных проб и координат точек их отбора строится электронная почвенная карта. На эту основу накладываются слоями дополнительная информация по почвенным индексам, NDVI и др., картограммы водотоков и экспликация склонов. В результате анализа данных проводится зонирование поля по уровням плодородия почвы [9]. При этом по данным ученых Канадского института энтологии и виноградарства (CCOVI), которые исследовали «эффекты терруара», влияющие на компоненты урожая виноградной лозы, состав ягод и сортовые параметры вина, устойчивая зависимость между составом почвы и качеством винограда и вина отсутствует, хотя традиционно считалось, что почва выступает основной характеристикой свойств терруара, определяющей качество винограда и вина.

Сейчас свойства терруара рассматривают через совместное взаимодействие почвы и окружающей среды. Во многих странах высококачественные вина производят из винограда, выращенного на самых разных почвах. Поэтому трудно определить лучшую почву с точки зрения структуры, мощности или содержания минералов. Заметное влияние на развитие кустов винограда и урожайность оказывают такие характеристики почвы, как водоудерживающая и фильтрационная способность. Одним из основных факторов «эффекта терруара» считают водный баланс виноградной лозы, так как самые сильные зависимости качества вина были связаны с водным потенциалом листьев в полдень, приростом лозы и массой ягод. Наиболее постоянными характеристиками почвы, которые повлияли

на производительность виноградной лозы и компоненты урожая, были ее физические свойства, особенно структура с высоким содержанием песка [10].

В конечном счете именно водный баланс почвы и растения определяет качество вина для конкретного терруара. Влияние физических свойств почвы на влагообеспеченность виноградного куста и качество вина было более значимым, чем химического состава почвы. В хорошо дренируемых почвах отсутствуют застойные процессы в корневой зоне, а в конце сезона сокращается доступность влаги, поэтому участки, быстро теряющие водонасыщенность и находящиеся выше уровня грунтовых вод, более пригодны для виноградных насаждений.

В многочисленных вегетационных и полевых опытах доказано, что внесение удобрений не только повышает урожай, но и благодаря уменьшению эвапотранспирации снижается расход воды на создание единицы продукции. Поэтому высокое плодородие почвы способствует уменьшению коэффициента водопотребления. Так как сила всасывания корней виноградной лозы достигает 16,3 кг/см² питательные вещества в почвенном растворе при небольших запасах влаги, если позволяет почва, могут поступать в растение с глубины до 10 м [11].

Зарубежные исследователи отмечают, что почва, пригодная для виноградников, характеризуется такими параметрами, как скорость инфильтрации от 500 мм в сутки, общая доступность воды в корневой зоне – от 150 мм, легкодоступной воды в корневой зоне – от 75 мм. Плохой дренаж и переувлажнение виноградных насаждений замедляют рост виноградной лозы. В засушливых регионах плохой дренаж увеличивает накопление солей в корневой зоне [12]. Уклон выступает важным показателем подстилающей поверхности для оценки эффекта терруара, так как от него зависит поверхностный сток и дренирование верхнего почвенного слоя, интенсивность эрозии, мощность почвенного профиля, поступление солнечных лучей, микроклимат участка [13].

Виноград особенно тонко реагирует на изменения климатических условий и аномальные проявления погоды, которые в последние десятилетия стали более нестабильны и принимают характер природных катаклизмов. В первую очередь это относится к температурному режиму и количеству осадков. Морфометрические параметры почвенной и рельефной поверхности участка, которые определяют агроэкологические показатели виноградных насаждений, более устойчивы.

Наличие прямой зависимости между влажностью почвы, площадью листовой поверхности и урожайностью позволяет на основе нормализованных индексов вегетации (NDVI) и влажности почвы (NDMI) определять терруарные участки виноградного насаждения [14].

Но эти спутниковые данные необходимо верифицировать и калибровать по контрольным точкам в местах уклонов, бугров и низин, проводя полевые исследования влажности и структуры почвы, определение фазов развития лозы.

Отражательная способность земель под виноградниками меняется в зависимости от погодных факторов, влажности почвы, фенологических стадий развития винограда, агротехнических мероприятий, степени засоренности поля, характеристик мезорельефа и др. Систематизация разнородных характеристик виноградных насаждений позволяет на основе геоинформационных технологий определять внутренние и внешние границы виноградопригодных земель со свойствами терруара.

Экстенсивные возможности увеличения виноградных насаждений в Краснодарском крае практически исчерпаны. Поэтому дальнейшее развитие виноградарской отрасли возможно посредством перехода к прецизионному виноградарству. Прецизионное виноградарство основывается на оперативных данных с метеорологических и других датчиков окружающей среды, спутникового и воздушного дистанционного зондирования, их анализа в географической информационной системе (ГИС). Высокая вариабельность факторов, влияющих на рост лозы и качественные характеристики винограда, требует также интенсивного управления с учетом этих данных о местных условиях виноградаря.

Цель исследования – проверка метода микронирования урожайности виноградных насаждений со свойствами терруара по изменчивости значений вегетационных индексов с космических снимков Sentinel-2.

Условия, материалы и методы. Объект исследования – виноградник на площади 23,46 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 м × 1,0 м, формировка Гюйо. Постановку полевого опыта и анализ данных осуществляли в соответствии с методикой СКЗНИИСиВ (2010). Почвенные исследования проведены по ГОСТам: определение плотного остатка водной вытяжки – по ГОСТ 26423-85, определение кальция и магния – комплексометрическим методом по ГОСТ 26487-85. Количество сахаров в образцах винограда определяли денсиметрическим методом (ГОСТ 13192-73), кислотность сока ягод путем титрования (ГОСТ Р 51621-2000).

Определение границ и морфометрических параметров почвенных участков проводили на основе космических снимков Sentinel-2 по каналам: B04, B03, B02, B08 в программах QGIS, SAGA GIS, SNAP. На каждом участке исследовали по 15 кустов. Анализ данных проводили за несколько вегетационных периодов. Диапазон обновления спектральных космоснимков составляет от 3 до 7 дней [15].

Микронирование местности по таким параметрам, как физико-химический состав почвы, температурные поля, влажность почвы, морфометрия и уклоны склонов проводили визуальным дешифрированием космических снимков и классификацией виноградопригодных земель с использованием современных цифровых технологий: глобального позиционирования, дистанционного зондирования (ДЗ) и геоинформационных систем (ГИС) [3].

Результаты и обсуждение. В Анапском районе определяющими параметрами при выборе земель для закладки виноградных плантаций служат уровень и солевой состав грунтовых вод и почв, содержание активных карбонатов в почве, гранулометрический состав и плотность почвы, запасы гумуса, экспозиция, длина и крутизна склонов [16].

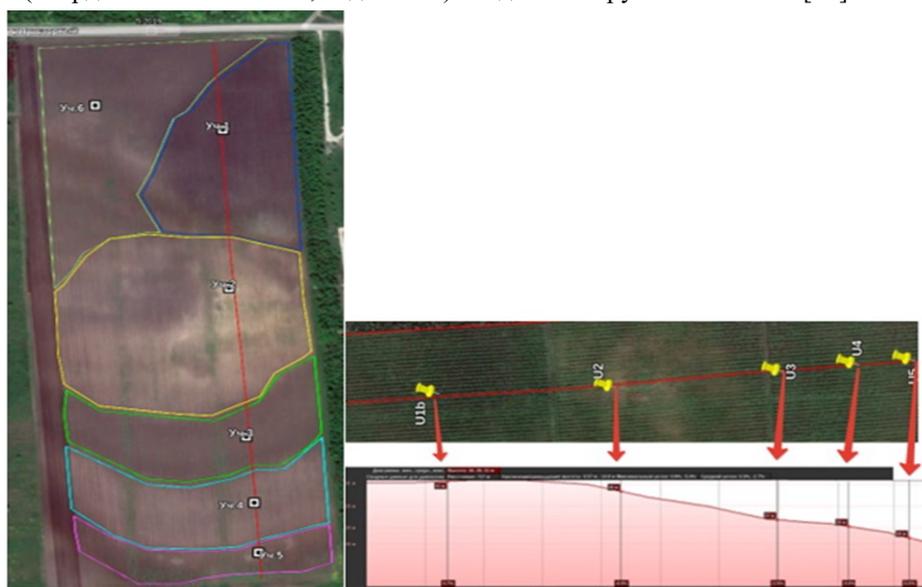


Рис. 1 – Варианты почвенных массивов (1 участок – 3,58 га, 2 участок – 6,15 га, 3 участок – 2,60 га, 4 участок – 2,80 га, 5 участок – 1,36 га, 6 участок – 4,31 га) и точки отбора почвенных проб на опытном участке, профиль рельефа, высоты и уклон маршрута

Проведенные маршрутно-полевые исследования почвы опытного участка и вегетационных индексов виноградных насаждений позволили сформулировать гипотезу выделения терруара по спектральным паттернам (образцам) почвенных участков и силе роста кустов. Для ее подтверждения в 2022 г. на участке виноградного насаждения площадью 23,46 га выделено 5 почвенных разностей (рис. 1) с различными физико-химическими характеристиками почвы (табл. 1).

В первом варианте почва, начиная с глубины 100 см, содержит повышенное количество легкорастворимых солей, среди которых преобладают входящие в гипс ионы HCO_3^{3-} . Важной особенностью также выступает полное отсутствие карбонатов кальция как общих, так и активных.

Во втором варианте почва выделяется легким гранулометрическим составом, в то время как у остальных образцов он варьирует от среднесуглинистого до тяжелосуглинистого.

В третьем варианте почва содержит наибольшее количество карбонатов кальция, которой с глубиной увеличивается и достигает 18% на глубине 160 см.

В четвертом варианте почва характеризуется отсутствием карбонатов кальция и среднесуглинистым гранулометрическим составом.

В пятом варианте почва содержит токсичные легкорастворимые соли, концентрация хлорид иона начинает увеличиваться с глубины 60 см и на глубине 160 см достигает 0,63 мг-экв. на 100 г почвы.

Для определения степени влияния почвенных разностей на виноградное растение проводили агробиологические учеты и определяли качественно-количественные показатели виноградной продукции на всех пяти массивах виноградного насаждения (табл. 2).

По контрастным снимкам, после обработки по специальным алгоритмам (с использованием сервиса <https://app.onesoil.ai/>), была проведена оценка относительной плотности фитомассы по значениям индекса вегетации NDVI. Коллекция снимков виноградников с повторяющимися признаками узора-текстуры позволила выявить отклонения от оптимального значения. На отклонения значения индекса NDVI также влияло распределение суточных температур и осадков (рис. 2).



а)



б)

Рис. 2 – Влияние температуры (а) и осадков (б) на индекс NDVI в 2022 г. и средние за 5 лет

Спектральные индексы определяли по каналам B04, B03, B02 и B08 космического снимка Sentinel-2.

На снимке парового поля (2019 г.), когда зеленые растения на поверхности почвы отсутствовали, четко видны границы и контуры

почвенных массивов, различимые по цвету, тону и текстуре (рис. 3а).

Аналогичные различия видны при обработке спектральных каналов B08 и B04 соответственно для средних и контрастных значений вегетационного индекса NDVI (рис. 3б и 3в).

Таблица 1 – Физико-химическая характеристика почв по результатам анализа водной вытяжки

Вариант, почва	Слой, см	рН	Плотный остаток, %	НСО ³⁻	СГ	Са ²⁺	Мg ²⁺	Карбонаты, %		Вскипание от 10 % соляной кислоты
				мг-экв. /100 г почвы				общие	подвижные	
1. Чернозем обыкновенный мощный глубоко солонцеватый, тяжелосуглинистый, сформированный на гипсовых глинах	0...20	6,6	0,051	0,20	0,24	0,25	0,15	0	0	-
	20...40	6,4	0,068	0,22	0,29	0,25	0,15	0	0	-
	40...60	6,3	0,056	0,22	0,29	0,30	0,20	0	0	-
	60...80	6,3	0,086	0,24	0,24	0,30	0,20	0	0	-
	80...100	6,4	0,100	0,26	0,25	0,25	0,25	0	0	-
	100...120	6,7	0,196	0,50	0,38	0,75	0,40	0	0	-
	120...140	6,7	0,518	0,40	0,38	3,50	1,50	0	0	-
140...160	6,8	0,473	0,26	0,38	4,00	0,30	0	0	-	
2. Чернозем южный карбонатный маломощный, супесчаный, сформированный на приморских песках	0...20	6,7	0,037	0,24	0,24	0,30	0,10	2,0	2,5	+
	20...40	6,7	0,031	0,40	0,27	0,30	0,10	4,0	2,5	+
	40...60	6,5	0,040	0,40	0,27	0,30	0,15	4,0	4,0	+
	60...80	6,5	0,034	0,40	0,29	0,45	0,10	4,0	4,5	+
	80...100	6,7	0,037	0,34	0,25	0,35	0,15	2,0	4,5	+
	100...120	6,7	0,030	0,34	0,29	0,25	0,15	2,0	4,5	+
	120...140	6,6	0,026	0,32	0,30	0,35	0,10	2,0	2,5	+
140...160	6,4	0,030	0,32	0,34	0,35	0,10	2,0	0	-	
3. Чернозем обыкновенный мощный карбонатный тяжелоуглинистый, сформированный на тяжелых суглинках и глинах	0...20	7,3	0,073	0,38	0,29	0,40	0,20	4,0	2,5	+
	20...40	7,7	0,070	0,40	0,26	0,45	0,30	6,0	5,0	+
	40...60	7,6	0,080	0,40	0,25	0,40	0,15	6,0	6,5	+
	60...80	7,5	0,051	0,36	0,25	0,45	0,15	8,0	8,5	+
	80...100	7,7	0,040	0,40	0,24	0,50	0,10	10,0	10,0	+
	100...120	7,5	0,050	0,40	0,24	0,45	0,15	12,0	10,0	+
	120...140	7,6	0,051	0,40	0,25	0,50	0,10	16,0	11,5	+
140...160	7,6	0,053	0,32	0,24	0,50	0,15	18,8	13,5	+	
4. Чернозем южный выщелоченный мощный среднесуглинистый, сформированный на лессовидных суглинках	0...20	6,8	0,048	0,22	0,26	0,30	0,10	0	0	-
	20...40	6,9	0,050	0,24	0,31	0,35	0,15	0	0	-
	40...60	6,9	0,058	0,26	0,31	0,35	0,20	0	0	-
	60...80	7,2	0,038	0,30	0,30	0,40	0,15	0	0	-
	80...100	7,1	0,032	0,30	0,31	0,40	0,15	0	0	-
	100...120	7,1	0,037	0,26	0,32	0,40	0,15	0	0	-
	120...140	7,5	0,072	0,46	0,34	0,40	0,05	4,2	2,6	+
140...160	7,5	0,062	0,50	0,34	0,40	0,05	8,4	4,7	+	
5. Чернозем южный карбонатный мощный среднесуглинистый глубокосолонцеватый, сформированный на лессовидных глинах	0...20	7,4	0,066	0,40	0,29	0,45	0,25	2,1	1,8	+
	20...40	7,4	0,059	0,42	0,30	0,45	0,10	2,1	2,0	+
	40...60	7,3	0,064	0,40	0,30	0,45	0,10	4,2	2,5	+
	60...80	7,4	0,130	0,36	0,53	0,80	0,20	5,0	3,2	+
	80...100	7,4	0,107	0,36	0,53	0,90	0,20	6,3	3,9	+
	100...120	7,4	0,124	0,40	0,68	0,90	0,15	7,6	4,5	+
	120...140	7,4	0,120	0,42	0,68	0,95	0,10	8,4	7,1	+
140...160	7,4	0,120	0,46	0,63	0,90	0,15	6,3	6,0	+	

Один пиксель снимка имеет разрешение 10 м, что соответствует площади в 0,01 га. То есть значение вегетационного индекса в одном пикселе отражает среднюю силу роста от 30 до 40 виноградных кустов на 0,01 га для схемы посадки 2,5 м × 1,0 м (сорт – Шардоне×Кобер 5ББ, формировка Гюйо), что соответствует скорости роста побегов этого участка. В свою очередь сила роста кустов винограда зависит как от плодородия почвы, так и от используемых агротехнических приемов [17].

Наличие тесной связи между влажностью почвы, площадью листовой поверхности и урожайностью виноградника [18] позволяет на основе нормализованных индексов вегетации (NDVI) и влажности почвы (NDMI) выделять участки виноградного насаждения с различной силой роста кустов на разных почвенных массивах.

Почвенные свойства выделенных участков микрзон и морфометрические параметры (уклон и протяженность), определяют силу развития кустов в исследованном ряду (рис. 1), урожайность и качество гроздей (табл. 2), что в течении вегетационного периода проявляется в величинах значений индекса вегетации.

Так, индекс NDVI в диапазоне от 0,27 до 0,47 в красном цвете соответствует 2,14 га межклеточных проездов и других участков без растительности (рис. 4а). Светло-желтый цвет со значениями индекса в диапазоне 0,4...0,6 – участки со слабо развитыми кустами, на которые приходится 7,7 га – варианты 1 и 2, значения индекса 0,6...0,7 соответствуют участкам с нормально развитыми кустами на площади 14,5 га – варианты 3 и 5. Сильно развитые кусты на 1,9 га характеризует NDVI от 0,7 и выше – вариант 4.

Таблица 2 – Урожайность и качественные показатели сорта Шардоне в различных вариантах почвенной разности и рельефа

Вариант, высота, уклон	Коэффициент Плодоношения, K1	Коэффициент плодородности, K2	Среднее количество гроздей	Средняя масса грозди, грамм	Расчетная урожайность с куста, кг	Фактическая урожайность, кг/куст	Сахар, г/100 см ³	Титруемая кислота, г/дм ³ , кислотность	pH сока
1) 31 м, 0,7 %	1,06	1,68	11,3	201	2,86	2,28	18,6	8,85	3,13
2) 28 м, 4,3 %	1,32	1,70	18,2	130	3,06	2,37	15,9	12,00	3,02
3) 22 м, 1,5 %	1,35	1,58	18,8	140	3,19	2,64	18,6	8,92	3,11
4) 20 м, 2 %	1,49	1,83	27,8	142	3,62	3,96	14,6	14,70	2,99
5) 18 м, 5 %	1,47	1,87	12,5	155	3,19	1,94	18,9	9,67	3,07

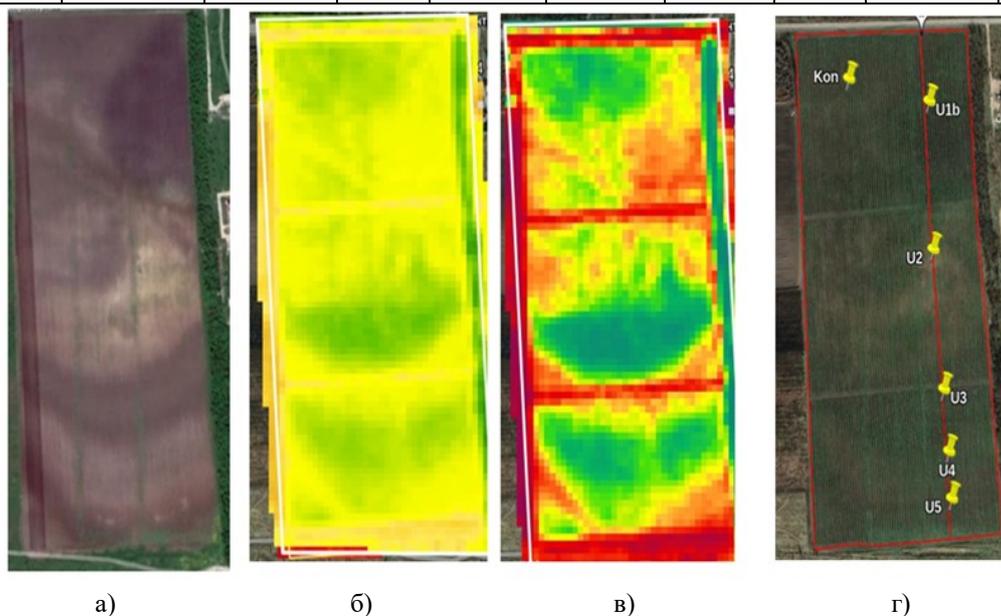


Рис. 3 – Космоснимки виноградных насаждений: а) пашня, б) средний NDVI = 0,35, в) контрастный NDVI 27.09.2022: красный – 0,21...0,39 (низкий уровень вегетации); желтый – 0,40...0,42 (угнетенная вегетация); зеленый – 0,43...0,55 (сильная вегетация), г) точки отбора проб по варианту на участке (27.09.2022).

NDMI – нормализованный разностный индекс влажности отражает уровень содержания влаги в растениях. При его величине 0,019...0,125 относительных единиц, характерной для 64% площади виноградника, растения имеют нормальную увлажненность, а на 4% площади насаждений со значениями индекса 0,125...0,231 они переувлажнены (рис. 4б). В зону переувлажнения попадает вариант 4 – с наибольшим количеством гроздей, расчетной и фактической урожайностью и кислотностью ягод. Остальные варианты расположена на участках с нормальной увлажненностью (см. табл. 2, рис. 3г).

ReCI – показатель фотосинтетической активности растительного покрова, чувствительный к содержанию хлорофилла в листьях.

Он очень вариабелен и может менять свое значение в зависимости от влажности воздуха.

По его величине можно судить о стрессе листьев. По результатам исследований растения на 4% площади виноградника характеризуются высоким уровнем хлорофилла (рис. 4в), 27% – повышенным, что соответствует вариантам 4 и 5, 58% – нормальным (варианты 1, 2, 3).

Значительно меньшую фактическую урожайность, в сравнении с расчетной, в варианте 5 (см. табл. 2), можно объяснить влиянием краевого эффекта.

Но в целом сила роста кустов и фактическая урожайность в остальных вариантах соответствует изменчивости значений вегетационных индексов.

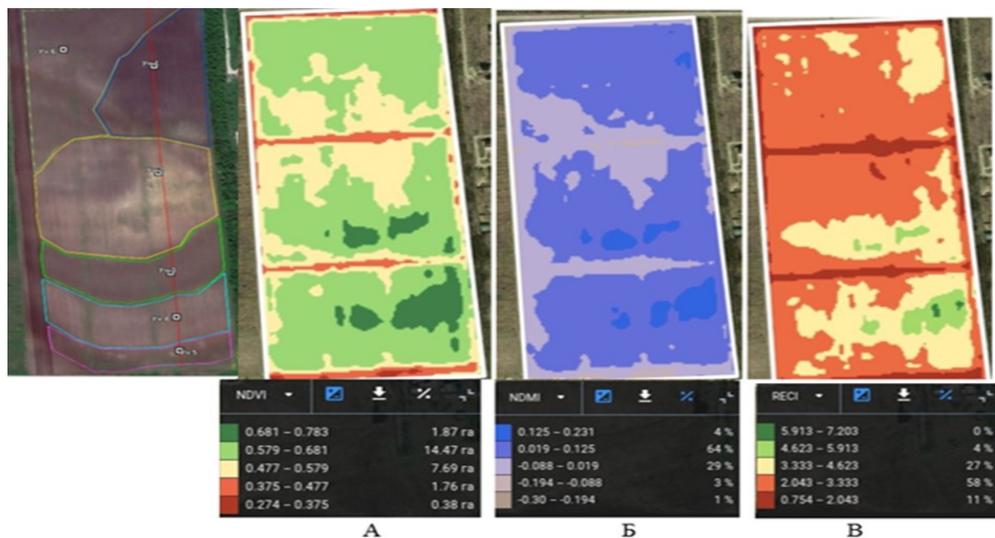


Рис. 4 – Нормализованные разностные индексы, август 2022 г.: а) NDVI; б) NDMI; в) RECI

Выводы. При изучении спектральных характеристик виноградных насаждений отмечены три основных признака, несущих информацию о состоянии растительного покрова: индекс яркости почв – синтезированный снимок в трех видимых каналах, взвешенная сумма значений пикселей всех зон снимка, учитывающая максимальное варьирование отражательной способности почвы; индекс вегетации NDVI зеленой растительности – контраст между ближней инфракрасной и видимой областями, в значительной степени определяющий количество зеленой растительности в отображаемой области; индекс влажности растений NDMI, который определяется на основе индексов влажности почвы и воздуха.

Данные дистанционного зондирования с 10 м разрешением в сочетании с полевой калибровкой при маршрутно-полевом обследовании почв могут применяться для оценки и классификации терруарных свойств виноградных насаждений по способности накапливать сахар и кислотности. При проведении калибровки спектральных изображений для различных условий выращивания и с учетом конкретных агротехнических приемов, которые оказывают влияние на силу роста

виноградного куста (обрезка, обломка зеленых побегов, форма куста, обработка почвы, внесение удобрения, орошение виноградников и др.) оценку терруарных свойств виноградопригодных земель можно проводить оперативно с высокой точностью и минимальной наземной проверкой.

Динамику индекса NDVI в течение вегетационного периода можно использовать для оценки силы роста группы от 20 до 50 виноградных кустов (в зависимости от схемы посадки) на участке в 0,01 га и урожайности в зависимости от терруарных свойств, а в сочетании с данными индекса влажности почвы NDMI – для выявления отклонений в развитии (участки повышенной влажности проявляются в сильном развитии кустов).

Эти два индекса отражают изменения в кронах кустов на фоне междурядий с оголенной почвой и выступают индикатором для классификации проблемных и терруарных участков виноградника.

Контурно-площадное дешифрирование микрзон виноградного насаждения по почвенными и вегетационным индексам многозональных космоснимков в сочетании с маршрутно-полевыми исследованиями почв

могут служить надежными оценочными признаками для выделения виноградопригодных земель в рамках концепции терруара виноградного насаждения.

Литература

1. О виноградарстве и виноделии в Российской Федерации: Федеральный закон от 27.12.2019 N 468-ФЗ (ред. от 02.07.2021) URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201912280016> (дата обращения: 17.08.2022).
2. Орлов В.А., Лукьянов А.А. Элементы цифровизации виноградных насаждений на основе геоинформационной системы // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2022. № 73 (1) С. 14–27. doi: 10.30679/2219-5335-2022-1-73-14-27.
3. Организация работы с данными наземных и дистанционных наблюдений для решения задач дистанционного мониторинга виноградников / Е.А. Рыбалко, Н.В. Баранова, Е.А. Лупян и др. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13 (1). С. 79–92. doi: 10.21046/2070-7401-2016-13-1-79-92.
4. A soil quality index using Vis-NIR and pXRF spectra of a soil profile / G. Gozukara, M. Acar, E. Ozlu, et al. // Catena. 2022. Vol. 211. 105954. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816221008122> (дата обращения: 01.07.2022). doi: 10.1016/j.catena.2021.105954.
5. Soil classification of multihorizontal profiles using support vector machines and vis-NIR spectroscopy / S. Chen, W. Ma, D. Xu, et al. // Pedometrics: Wageningen 2017. P. 56. URL: <https://hal.science/hal-01606621> (дата обращения: 10.07.2022).
6. Minařík R., Žizala D., Juřicová A. Creation of detailed soil properties maps of the Czech Republic based on national legacy data and digital soil mapping // EGU General Assembly 2020. EGU2020-18480. doi: 10.5194/egusphere-egu2020-18480. URL: <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2020/EGU2020-18480.html> (дата обращения: 12.07.2022). doi: 10.5194/egusphere-egu2020-18480.
7. Digital Soil Mapping - An Introductory Perspective / P. Lagacherie A.B. McBratney, M. Voltz, et al. // The European Journal of Soil Science (EJSS). 2007. Vol. 58. No. 5. P.1217–1218. doi: 10.1111/j.1365-2389.2007.00943.6.x.
8. Organic Matter Modeling at the Landscape Scale Based on Multitemporal Soil Pattern Analysis Using RapidEye Data / G. Blasch, D. Spengler, S. Itzerott, et al. // Remote Sensing. 2015. № 7 (9). P. 11125–11150. doi: 10.3390/rs70911125.
9. Regional mapping of soil organic matter content using multitemporal synthetic Landsat 8 images in Google Earth Engine / C. Luo, X. Zhang, X. Meng, et al. // CATENA. 2022. Vol. 209, P. 1. 105842. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816221007001?via%3Dihub> (дата обращения: 15.08.2022). doi: 10.1016/j.catena.2021.105842.
10. Reynolds A., Willwerth J. Spatial variability in Ontario Riesling vineyards: I. Soil, vine water status and vine performance // OENO One. 2020. № 54. P. 311–333. doi: 10.20870/oeno-one.2020.54.2.2401.
11. Bamberger U. Wasserdefizit im Boden – Folgen für den Wein? // Deutsches Weinbaujahrbuch. 2008. Verlag Ulmer, Stuttgart, S. 130–133.
12. The use of proximal soil sensor data fusion and digital soil mapping for precision agriculture / W. Ji, V. Adamchuk, S. Chen, et al. // Pedometrics. 2017. HAL Id: hal-01601278. URL: <https://hal.science/hal-01601278> (дата обращения: 17.02.2022)
13. Устойчивость сортов винограда к засухе / Н.И. Ненько, И.А. Ильина, В.С. Петров и др. // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2019. № 5. С.40–45. doi: 10.30850/vrsn/2019/5/40-45.
14. Remote sensing, yield, physical characteristics, and fruit composition variability in Cabernet Sauvignon vineyards / B. Sams, R.G.V. Bramley, L. Sanchez, et al. // American Society for Enology and Viticulture. 2022. №73(2). P. 93-105. doi: 10.5344/ajev.2021.21038.
15. Шукилович А.Ю., Федотова Е.В., Маглинец Ю.А. Применение сенсора MODIS для оперативного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: техника и технологии. 2016. С. 1035–1044. doi: 10.17516/1999-494X-2016-9-7-1035-1044.
16. Влияние факторов среды амеллоценоза на формирование качественных показателей вина / А.А. Лукьянов, М.В. Антоненко, Ю.В. Гапоненко и др. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 112. С. 1224–1235.
17. Майбородин С.В. Изменение показателей продуктивности и плодородности виноградных насаждений в зависимости от применения различных агротехнических приемов // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2022. № 2 (63). С. 33–38. doi: 10.31677/2072-6724-2022-63-2-33-38.
18. Mathematical Models of Leaf Area Index and Yield for Grapevines Grown in the Turpan Area Xinjiang, China / L. Su, W. Tao, Y. Sun, et al. // Agronomy. 2022. 12(5):988. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/5/988> (дата обращения: 04.09.2022). doi: 10.3390/agronomy12050988.

Сведения об авторах:

Орлов Виталий Александрович – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории виноградарства и виноделия, e-mail: vitorl@yandex.ru
 Лукьянов Алексей Александрович кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, директор, e-mail: azosviv@mail.ru
 Анапская зональная опытная станция виноградарства и виноделия – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», Анапа, Россия.

EVALUATION OF SIGNS OF VINEY LAND BY SPECTRAL PATTERNS

V. A. Orlov, A. A. Lukyanov

Abstract. The purpose of the study is to determine the necessary set of estimated signs of vineyards with terroir properties based on the generalization of literary sources and the setting up of field experience in the application of spectral indices from satellite images. The use of spectral data on the state of soils, plants and the environment makes it possible to

evaluate the growth force of bushes and the yield of vineyards by difference normalized indices. Spectral analysis of vineyards using satellite images allows obtaining data on the vegetative and moisture variability of vine plantations with a frequency of 2-7 days. The correct interpretation of spectral satellite images is possible when they are verified by ground studies of soil indicators, vegetation of bushes by phenophases, agricultural work performed in the aisle, soil, air and leaf moisture. In the future, verification of satellite and ground-based data will reduce the number of route-field surveys and laboratory tests. To solve this problem, spectral data from the public satellite platforms Sentinel-2 and Landsat-8 must be calibrated using ground samples from sample plots of vineyard lands with terroir properties, which are defined as spectral patterns (samples) of vineyards. The presence of a relationship between soil moisture, leaf area and yield makes it possible, on the basis of the normalized NDVI vegetation index and NDMI soil moisture, to determine the micro-sites of vine plantations of different productivity and quality of grape harvest. Microzoning of the area according to such parameters as physical and chemical composition, soil moisture, morphometry, exposure and slope slopes makes it possible to identify viticultural areas with terroir properties. Identification of the boundaries and areas of vineyards with terroir properties using spectral raster satellite images with vectorization of difference soil layers in a geographic information system allows you to quickly assess viable lands, the productivity of various areas of vineyards and optimize agricultural work in accordance with a precision approach in viticulture.

Key words: vineyard, viticulture, spectral vegetation index, soil structure, terroir, pattern, bush growth force.

References

1. On viticulture and winemaking in the Russian Federation: Federal Law of December 27, 2019 N 468-FZ (as amended on July 2, 2021). [cited 2022, August 17]. Available from: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201912280016>.
2. Orlov VA, Luk'yanov AA. [Elements of digitalization of vine plantations based on a geographic information system]. *Plodovodstvo i vinogradarstvo Yuga Rossii*. 2022; 73 (1) 14-27 p. doi: 10.30679/2219-5335-2022-1-73-14-27.
3. Rybalko EA, Baranova NV, Lupyan EA. [Organization of work with data from ground and remote observations for solving problems of remote monitoring of vineyards]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2016; Vol.13 (1). 79-92 p. doi: 10.21046/2070-7401-2016-13-1-79-92.
4. Gozukara G, Acar M, Ozlu E. A soil quality index using Vis-NIR and pXRF spectra of a soil profile. [Internet]. *Catena*. 2022; Vol.211. 105954 p. [cited 2022, July 1]. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816221008122>. doi: 10.1016/j.catena.2021.105954.
5. Chen S, Ma W, Xu D. Soil classification of multihorizontal profiles using support vector machines and vis-NIR spectroscopy. [Internet]. *Pedometrics: Wageningen* 2017; 56 p. [cited 2022, July 10]. Available from: <https://hal.science/hal-01606621>.
6. Minařík R, Žížala D, Juřicová A. Creation of detailed soil properties maps of the Czech Republic based on national legacy data and digital soil mapping. [Internet]. EGU General Assembly 2020; EGU2020-18480. doi: 10.5194/egusphere-egu2020-18480. [cited 2022, July 17]. Available from: <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2020/EGU2020-18480.html>. doi: 10.5194/egusphere-egu2020-18480.
7. Lagacherie P, McBratney AB, Voltz M. Digital Soil Mapping - An Introductory Perspective. [Internet]. *The European Journal of Soil Science (EJSS)*. 2007; Vol.58. 5. 1217-1218 p. doi: 10.1111/j.1365-2389.2007.00943_6.x.
8. Blasch G, Spengler D, Itzerott S. Organic matter modeling at the landscape scale based on multitemporal soil pattern analysis using rapideye data. *Remote sensing*. 2015; 7 (9). 11125-11150 p. doi: 10.3390/rs70911125.
9. Luo C, Zhang X, Meng X. Regional mapping of soil organic matter content using multitemporal synthetic Landsat 8 images in Google Earth Engine. [Internet]. *CATENA*. 2022; Vol.209. 1. 105842 p. [cited 2022, August 15]. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816221007001?via%3Dihub>. doi: 10.1016/j.catena.2021.105842.
10. Reynolds A, Willwerth J. Spatial variability in Ontario Riesling vineyards: I. Soil, vine water status and vine performance. *OENO One*. 2020; 54. 311-333 p. doi: 10.20870/oenone.2020.54.2.2401.
11. Bamberger U. Wasserdefizit im Boden – Folgen für den Wein? *Deutsches Weinbaujahrbuch*. 2008; Verlag Ulmer. Stuttgart. 130-133 p.
12. Ji W, Adamchuk V, Chen S. The use of proximal soil sensor data fusion and digital soil mapping for precision agriculture. [Internet]. *Pedometrics*. 2017; HAL Id: hal-01601278. [cited 2022, February 17]. Available from: <https://hal.science/hal-01601278>.
13. Nen'ko NI, Il'ina IA, Petrov VS. [Resistance of grape varieties to drought]. *Vestnik Rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki*. 2019; 5. 40-45 p. doi: 10.30850/vrsn/2019/5/40-45.
14. Sams B, Bramley RGV, Sanchez L. Remote sensing, yield, physical characteristics, and fruit composition variability in Cabernet Sauvignon vineyards. *American Society for Enology and Viticulture*. 2022; 73(2). 93-105 p. doi: 10.5344/ajev.2021.21038.
15. Shukilovich AYu, Fedotova EV, Maglinets YuA. [Application of the MODIS sensor for operational monitoring of agricultural land]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: tekhnika i tekhnologii*. 2016; 1035-1044 p. doi: 10.17516/1999-494X-2016-9-7-1035-1044.
16. Luk'yanov AA, Antonenko MV, Gaponenko YuV. [Influence of environmental factors of ampelocenos on the formation of quality indicators of wine]. *Politematicheskii setevoi elektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2015; 112. 1224-1235 p.
17. Mayborodin SV. [Changes in indicators of productivity and fruitfulness of vineyards depending on the use of various agricultural practices]. *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*. 2022; 2(63). 33-38 p. doi: 10.31677/2072-6724-2022-63-2-33-38.
18. Su L, Tao W, Sun Y. Mathematical models of leaf area index and yield for grapevines grown in Turpan area Xinjiang, China. [Internet]. *Agronomy*. 2022; 12(5):988. [cited 2022, September 4]. Available from: <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/5/988>. doi: 10.3390/agronomy12050988.

Authors:

Orlov Vitaliy Aleksandrovich – Ph.D. of Agricultural sciences, senior researcher of Viticulture and Winemaking Laboratory, e-mail: vitorl@yandex.ru

Lukyanov Aleksey Aleksandrovich – Ph.D. of Agricultural sciences, senior researcher, director of the station, e-mail: azosviv@mail.ru

Anapa Zonal Experimental Station of Viticulture and Winemaking is a branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution “North Caucasus Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking”, Anapa, Russia.