

УДК 634.8:631.471

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-387-10-159-164

В.А. Орлов ✉

А.А. Лукьянов

О.И. Михайловская

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: 15.07.2024

Одобрена после рецензирования: 12.09.2024

Принята к публикации: 26.09.2024

© Орлов В.А., Лукьянов А.А., Михайловская О.И.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-387-10-159-164

Vitaly A. Orlov ✉

Alexey A. Lukyanov

Olesya I. Mikhailovskaya

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

✉ vitorl@yandex.ru

Received by the editorial office: 15.07.2024

Accepted in revised: 12.09.2024

Accepted for publication: 26.09.2024

© Orlov V.A., Lukyanov A.A., Mikhailovskaya O.I.

Определение морфометрических показателей почвенной поверхности виноградного насаждения по спектральным каналам спутниковых изображений

РЕЗЮМЕ

Введение. Почвы играют важную роль примерно в 30-летнем периоде эксплуатации виноградного насаждения, влияя на рост растений, их урожайность и качество винограда. В данном исследовании изучались морфометрические показатели поверхностного слоя почвы виноградного насаждения с использованием спектральных каналов спутниковых изображений.

Методология. Методология включала применение алгоритма «случайного леса» для классификации почвенного покрова по спектральным каналам и нормализованным индексам спутниковых изображений и анализа основных физико-химических свойств почв.

Результаты. В ходе исследования были выявлены значительные различия в спектральной отражательной способности различных вариантов участков, что было обусловлено содержанием карбонатов, уровнем влажности и количеством гумуса. Участки с высоким содержанием карбонатов и влаги показали более высокие значения стандартного отклонения в спектральных каналах. Изучение спектральных характеристик почвенной поверхности позволяет эффективно классифицировать различные участки на основе данных дистанционного зондирования. Анализ комбинаций спектральных каналов выявил оптимальный набор из трех каналов (B12, B11, B8A) с минимальным среднеквадратичным отклонением при классификации изображения по шести почвенным вариантам участков. Для классификации можно использовать и композицию из пяти нормализованных индексов, но в этом случае значительно возрастает время вычисления при большем значении среднеквадратичного отклонения и диапазоне доверительного интервала. С помощью машинного обучения были сегментированы шесть различных типов почвенной поверхности, что продемонстрировало сложность почвенной мозаики поля. Эти результаты имеют решающее значение для улучшения управления виноградниками и повышения их продуктивности.

Ключевые слова: виноградное насаждение, почва, спектральные каналы, нормализованные индексы, спутниковые данные, Sentinel-2, отражательная способность, распознавание изображений, машинное обучение

Для цитирования: Орлов В.А., Лукьянов А.А., Михайловская О.И. Определение морфометрических показателей почвенной поверхности виноградного насаждения по спектральным каналам спутниковых изображений. *Аграрная наука*. 2024; 387(10): 159–164.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-387-10-159-164>

Detection of morphometric indicators of the soil surface of a grape plantation using spectral bands of satellite images

ABSTRACT

Introduction. Soils play an important role in the approximately 30-year period of operation of a grape planting, influencing plant growth, their yield and the quality of the grapes. In this study, the morphometric parameters of the surface soil layer of a grape plantation were studied using spectral channels of satellite images.

Methodology. The methodology included the use of a “random forest” algorithm to classify soil cover using spectral channels and normalized satellite image indices and analyze the main physicochemical properties of soils. Accuracy was assessed using RMSD and confidence intervals calculated via bootstrapping.

Results. The study revealed significant differences in the spectral reflectivity of different site options, which was due to carbonate content, humidity levels and the amount of humus. Areas with high carbonate and moisture content showed higher standard deviation values in the spectral channels. Studying the spectral characteristics of the soil surface makes it possible to effectively classify different areas based on remote sensing data. Analysis of combinations of spectral channels revealed an optimal set of three channels (B12, B11, B8A) with a minimum standard deviation when classifying an image into six soil variants of areas. For classification, a composition of five normalized indices can also be used, but in this case the calculation time increases significantly with a larger standard deviation and a larger confidence interval range. Using machine learning, six distinct soil surface types were segmented, demonstrating the complexity of the field's soil mosaic. These results are critical for improving vineyard management and productivity.

Key words: grape planting, soil, spectral channels, normalized indices, satellite data, Sentinel-2, reflectivity, image classification, machine learning

For citation: Orlov V.A., Lukyanov A.A., Mikhailovskaya O.I. Detection of morphometric indicators of the soil surface of a grape plantation using spectral bands of satellite images. *Agrarian science*. 2024; 387(10): 159–164 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-387-10-159-164>

Введение/Introduction

Почва в совокупности с климатом и рельефом играют важную роль для виноградарства, влияя на рост растений и качество урожая. В условиях климатического изменения и повышения значимости рационального использования земельных ресурсов возникает необходимость в получении объективной и актуальной информации о неоднородности почвенного покрова по морфологическим признакам [1].

Полноценное обследование участков для определения свойств почв и ее плодородия позволяет получить объективную оценку потенциальной продуктивности виноградного насаждения. Актуальным параметром в создании и эксплуатации виноградных насаждений является бонитировка почв в баллах: 71–93 — у черноземов, 64–73 — у дерново-карбонатных, 59–65 — у щелочных [2].

Исследование высокопродуктивных земель позволяет интенсифицировать виноградарство на небольших, но оптимальных по плодородию земельных участках с выделением микрорайонов приоритетного развития [3]. Для определения таких участков требуется достоверное и актуальное детектирование почвенных показателей (содержание гумуса, влажность, цвет, текстура) виноградного насаждения по их морфометрическим характеристикам [4].

При оценке и выборе земель для закладки виноградных насаждений определяющими свойствами участка являются уровень грунтовых вод, солевой состав, содержание активных карбонатов, гранулометрический состав и плотность почвы, запасы гумуса, экспозиция, длина и крутизна склонов [5–7]. В число определяемых характеристик почв входят органические вещества, соединения железа, оксиды марганца, некоторые простые соли белого цвета [8].

Неоднородность почвенного покрова определяется гранулометрическим составом, влажностью, плотностью и окраской. Темные почвы содержат наибольшее количество питательных веществ, почвы с бурым цветом — среднее, а светлые — наименьшее. Красные, желтые и бурые тона проявляются при наличии водных оксидов железа. Белесые оттенки свидетельствуют о наличии в почве солей карбонатов кальция, сульфатов, гипса. Оподзоленные, солонцеватые и особенно осолоделые почвы в верхних горизонтах имеют белесоватость за счет накопления SiO_2 . Сизая окраска почвы свидетельствует о ее заболоченности. Гумус придает почвам темную окраску (в зависимости от его содержания) — черную или темновато-серую.

Существует система CIE-L*a*b* для характеристики почв, созданной Международным оптическим комитетом. В данной системе величина показателя L* (светлота) характеризует содержание в почве темного пигмента — гумуса, величина показателя a* (краснота) отражает содержание в почве красноцветного пигмента, а величина показателя b* (желтизна) соответствует содержанию в почве желтоцветного пигмента. В системе CIE-L*a*b* могут решаться задачи оценки влияния агрегации, размера и состава гранулометрических фракций на цвет почв [9–12].

Гранулометрический состав почвы во многом определяет тепловой градиент в течение суток. Песчаные почвы быстрее нагреваются, а глинистые лучше

удерживают тепло. В структурной почве происходит максимальное накопление воды и воздуха (до 40% от общего количества). В более плотных почвах наблюдаются более высокие концентрации химических элементов. «Белые щелочные» почвы с преобладающим содержанием катионов кальция и магния обычно имеют видимые солевые отложения на поверхности. Соли способствуют перемещению воды из областей с более низкой концентрацией соли в почву, где концентрация соли выше. «Черными щелочами» (или «солевыми пятнами») называют натриевые почвы, которые имеют черный цвет из-за рассеивания органического вещества и жирно-маслянистую поверхность с небольшим или отсутствующим вегетативным ростом.

Почвы из-за воздействия натрия и других солей на виноградное растение можно разделить по степени относительного риска для виноградного растения на низкий, умеренный и сильный. Низкий уровень солености не препятствует росту корней или общему здоровью растений. Умеренно засоленные почвы существенно влияют на корневую систему виноградного растения, однако еще остается устойчивость к неблагоприятному воздействию засоления. Сильнозасоленные почвы оказывают негативное воздействие на корневую систему и развитие растения. Присутствие высокого уровня соли серьезно затрудняет рост корней и общую жизнеспособность растения, что приводит к задержке в развитии и снижению урожайности виноградных кустов [13].

В современном виноградарстве внедряются технологии дистанционного мониторинга вегетирующих растений с различными почвенно-климатическими особенностями местности [14]. Неоднородность почвенного покрова влияет на фенологию и силу развития виноградного растения одного виноградного насаждения.

При оценке участков с разным плодородием почвы виноградного насаждения можно использовать контур почвенного паттерна (образца для сравнения) виноградного насаждения с оптимальной продуктивностью и качеством урожая на контрольных участках, а методами геоинформатики можно сегментировать почвенный покров по его морфометрическим признакам.

Цель исследования — оценить техническую возможность определения морфометрических показателей почвы виноградного насаждения по спектральным каналам спутниковых изображений для машинного определения контуров почвенных разностей.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследование проводилось на виноградном насаждении площадью 23 га сорта Шардоне 2019 г. посадки.

Для оценки разнообразия поверхностного слоя почв использовались «Технологическая инструкция по подбору и оценке почв для культуры винограда» и «База данных виноградопригодных почв Таманского полуострова Краснодарского края Российской Федерации» (2011–2021 гг.)¹.

Почвенные картограммы вегетационных индексов создавались методами машинного детектирования с использованием программ SAGA и SNAP [15]. Распознавание контуров почвенных массивов выполнено с использованием алгоритма машинного обучения «случайного леса» (Random Forest)². Тренировочные данные

¹ Лукьянов АА. Итоги научно-исследовательской деятельности Анапской зональной опытной станции виноградарства и виноделия — филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия» за 2021 год. Плодоводство и виноградарство юга России. 2022; (78): 39–48. DOI: 10.30679/2219-5335-2022-6-78-39-48, EDN: OMOMHQ

² Мюллер А., Гвидо С. Машинное обучение и глубокое обучение с использованием Python и R. М.: ДМК Пресс. 2021; 432.

были собраны на основе известных точек, представляющих почвы различных типов: глинистая, суглинистая, песчаная, супесчаная.

В качестве дополнительных признаков были рассчитаны текстурные признаки, такие как энтропия и контраст, с использованием GLCM (Gray-Level Co-occurrence Matrix).

Геостатистический метод использовался при количественной оценке почвенной неоднородности по цветовым и спектральным признакам [16–18]. Для машинного обучения распознавания почвенного покрова была использована коллекция изображений в открытом доступе Sentinel-2 (<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/copernicus/sentinel-2>) за 2022–2024 годы при облачности менее 10%.

Изображения были отобраны для изучения отражательной способности в каналах:

1) B2 — синий, разрешение — 10 м/пиксель, центральная длина волны — 490 нм, полоса пропускания — 65 нм, используется для распознавания почв и растительности, выявления антропогенных объектов; 2) B4 — красный (Red), разрешение — 10 м/пиксель, центральная длина волны — 665 нм, пропускная способность — 30 нм, используется для определения типов растительности, почв, городских и поселковых территорий; 3) B8 и B8A — ближний инфракрасный диапазон (NIR), разрешение — 10 м/пиксель и 20 м/пиксель, центральная длина волны — 842 нм и 865 нм, полоса пропускания — 115 нм и 20 нм соответственно, используется для картирования береговой линии, содержания биомассы и анализа растительности; 4) B11 и B12 — SWIR1 и SWIR2, разрешение — 20 м/пиксель, центральная длина волны — 1610 нм и 2190 нм, полоса пропускания — 90 нм и 180 нм соответственно, используется для измерения влажности почвы и растительности, обеспечивает хороший контраст между различными типами почвенной поверхности.

Комбинации инфракрасных диапазонов (SWIR2, NIR, Red) обычно используются для мониторинга дренажа и структуры почвы (<https://custom-scripts.sentinel-hub.com/sentinel-2/bands/>).

Каждому набору каналов присваивались значения для шести вариантов почвенной поверхности. Для оценки точности машинного распознавания почвенного покрова по спектральным полосам Sentinel-2 и шести вариантам участков почвенной поверхности использовались квадратичные отклонения и доверительные интервалы, рассчитанные с помощью статистического метода — бутстреппинга³.

Обработка данных временных рядов изображений методом машинного обучения распознавания изображений по шести вариантам почвенных проб выполнена в интернет-сервисе Google Earth Engine⁴ (Google LLC).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

На основе коллекции изображений Sentinel-2 и технологии интернет-сервиса Google Earth Engine проведено машинное распознавание изображений по шести паттернам участков с учетом показателей почвенных проб.

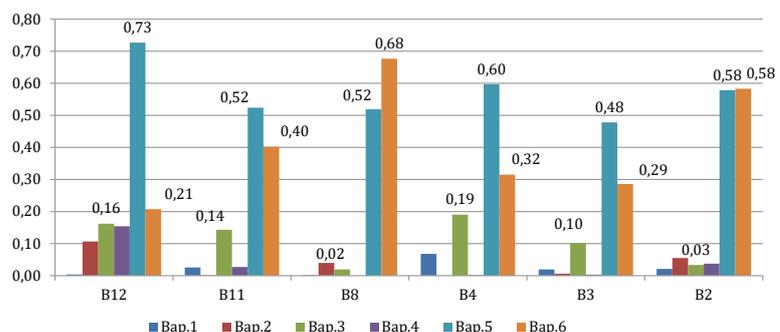
В данной работе проведен анализ различных комбинаций спектральных каналов, обеспечивающих наименьшее квадратичное отклонение при машинном распознавании изображений по вариантам почв. На основе космического изображения от 06.11.2019 Google Earth Pro (37°21'44.93"В, 44°55'46.44"С) были выделены шесть различных участков по визуально отличимому тону. Каждый участок представлен точкой с известными координатами, в которой была взята почвенная проба. Для каждой точки из шести почвенных участков были рассчитаны средние значения и стандартные отклонения отражательной способности в каналах спектра. Значения стандартного отклонения в каналах B8A, B11 и B12 позволяют различать почвенные участки в шести вариантах по их физико-химическим характеристикам. Так, например, участки с высоким содержанием карбонатов и влажностью демонстрируют более высокие значения стандартного отклонения в спектральных каналах, что может быть связано с изменениями в отражательной способности из-за содержания влаги и органического вещества.

Диаграммы стандартного отклонения по каналам (рис. 1) показали значительные различия между участками, что свидетельствует о разнообразии почвенных условий в исследуемой области. Это означает, что отражательная способность может значительно варьироваться в зависимости от различных микроусловий в пределах участка, что приводит к большему разбросу значений.

В таблице 1 приводятся показатели почвы по шести вариантам почвенных анализов. Эти данные включают содержание карбонатов, оксида фосфора (P_2O_5), оксида калия (K_2O), гигроскопическую влажность и содержание гумуса. Для понимания взаимосвязи между спектральными параметрами и физико-химическими характеристиками почвенной поверхности был проведен корреляционный анализ.

Для каналов B11, B12, B8A получили высокую положительную корреляцию между собой (0,85, 0,90, 0,80), то есть они измеряют схожие свойства поверхности. Сильная отрицательная корреляция с содержанием карбонатов (-0,70, -0,60, -0,75) указывает на то, что с увеличением их содержания в почвенном покрове отражательная способность уменьшается, то есть содержание карбонатов в поверхностном почвенном слое существенно влияет на ее отражательную способность. Оксид фосфора имеет слабую корреляцию с B11, B12 и B8A. Калий хотя и оказывает влияние на отражательную способность, но в значительно меньшей степени по

Рис. 1. Вариабельность каналов спектрального отражения по вариантам
Fig. 1. Variability of spectral reflection bands by variant



³Efron B. Bootstrap Methods: Another Look at the Jackknife. The Annals of Statistics. 1979; 7(1): 1–26.

⁴<https://earthengine.google.com/>

Таблица 1. Характеристики почвенных проб в шести вариантах опыта виноградного насаждения

Table 1. Characteristics of soil samples in six variants of the grape planting experiment

Вариант №, название почвы, слой почвы: 0–20 см	Карбонаты	P ₂ O ₅		K ₂ O	Гигроскопическая влажность почвы, г/см ³	Гумус
		%	МГ-экв. / 100 г почвы			
1. Чернозем обыкновенный, мощный, глубокосолощеватый, тяжелосуглинистый, сформированный на гипсовых глинах	0	11,1	32	7,5	2,1	
2. Чернозем южный, карбонатный, маломощный, гранулометрический состав — супесь, сформированный на приморских песках	2,0	3,8	10	6,0	1,5	
3. Чернозем обыкновенный, мощный, карбонатный, тяжелосуглинистый, сформированный на тяжелых суглинках и глинах	4,0	1,6	22	2,0	1,8	
4. Чернозем южный, выщелоченный, мощный, среднесуглинистый, сформированный на лессовидных суглинках	0	5,1	12	3,4	1,8	
5. Чернозем южный, карбонатный, мощный, среднесуглинистый, суглинистый, глубокосолощеватый, сформированный на лессовидных глинах	2,1	2,9	16	6,9	1,8	
6. Чернозем южный глубокосолощеватый	7,6	3,4	37	11,0	2,1	

сравнению с карбонатами. Спектральные каналы B11, B12, B8A показывают:

отрицательную корреляцию с гигроскопической влажностью (-0,65, -0,70, -0,60 соответственно). Это означает, что с увеличением гигроскопической влажности отражательная способность в этих спектральных каналах уменьшается. Высокая влажность почвы, как правило, снижает отражательную способность, так как вода поглощает больше света;

положительную корреляцию с содержанием гумуса (0,45, 0,50, 0,55 соответственно). Это указывает на то, что увеличение содержания гумуса ведет к увеличению отражательной способности в этих каналах. Гумус, богатый органическими веществами, может увеличивать отражательную способность почвы за счет своей структуры и цвета.

На рисунке 2 представлены снимки поля в различных спектральных индексах каналов Sentinel 2. На изображении RGB визуально были определены контуры шести областей виноградного насаждения с различным тоном, яркостью, цветом, определены их площади. Изображения в индексах SAVI, BRI и NDVI (рис. 2) отражают виноградное насаждение на контрасте отражательной способности почвы и растительности.

Индекс SAVI учитывает дифференциальное затухание красного B4 и ближнего инфракрасного B8-диапазона и сводит к минимуму влияние яркости почвы от спектральных индексов растительности. Изображения в индексах SAVI и NDVI коррелируют друг с другом. Индекс SAVI лучше подходит для участков, где влияние почвенного фона оказывается выше: имеются междурядные проезды шириной 2,5–3,5 м и длиной 200–300 м.

Обычно SAVI минимизирует вклад отраженного света от почвы и позволяет получить более точные данные о состоянии растительности, но за счет корректировки параметра L можно усилить яркость почвы. В результате остались только три основных цвета: белый (очень влажная почва), зеленый (средняя влажность), черный (сухая почва). Индекс BRI (Bare Soil Index) позволяет выявлять и анализировать показатели почвы на виноградниках в период покоя растений.

На изображении BRI (27.02.2024, рис. 2) участки почвы с высоким содержанием влаги показаны черным цветом, а более сухие участки — красным. Изображение в индексе NDVI (24.05.2024, рис. 2) отражает в оттенках зеленого цвета участки с различной степенью развития виноградных растений — пятна темного цвета характеризуют более развитый зеленый покров.

Изображение в индексе SWIR (24.05.2024, рис. 2) позволяет оценить запасы воды в почве, поскольку вода поглощает волны в коротковолновом инфракрасном диапазоне (полосы B12, B8, B4). На изображении SWIR растительность окрашена в оттенки зеленого, почвы и оголенные участки окрашены в различные оттенки коричневого, который наилучшим образом обозначает контур почвенных участков.

Изображение индекса SWIR по цвету контуров соответствует границам насыщенности влагой растений и почвы, но в разных цветах. Растительность окрашена в оттенки зеленого, почвы — в различные оттенки коричневого, а вода кажется черной. Сухая почва сильнее отражает коротковолновый инфракрасный свет в диапазоне канала SWIR B12, что показано ярко-желтыми пятнами.

На основе композиции снимков SAVI, BRI, NDVI, SWIR проведена цветовая классификация с машинным обучением по алгоритму Random Forest почвенного покрова виноградного насаждения по шести паттернам почвенных вариантов (изображение Random Forest, рис. 2).

В таблице 2 приведены рассчитанные площади участков с различными показателями в соответствии с шестью паттернами почв на основе машинной классификации. Результаты классификации показали четкое

Рис. 2. Картограммы поля в значениях вегетационных индексов: RGB, SAVI, BRI, NDVI, SWIR и машинной классификации изображения — Random Forest; по спектральным каналам: «B12, B11, B8»; «B12, B11, B8A»; «B12, B11, B8, B8A, B4»; «B12, B11, B8, B4, B2»

Fig. 2. Field cartograms in the values of vegetation indices: RGB, SAVI, BRI, NDVI, SWIR and machine image classification Random Forest; by spectral bands: «B12, B11, B8»; «B12, B11, B8A»; «B12, B11, B8, B8A, B4»; «B12, B11, B8, B4, B2».

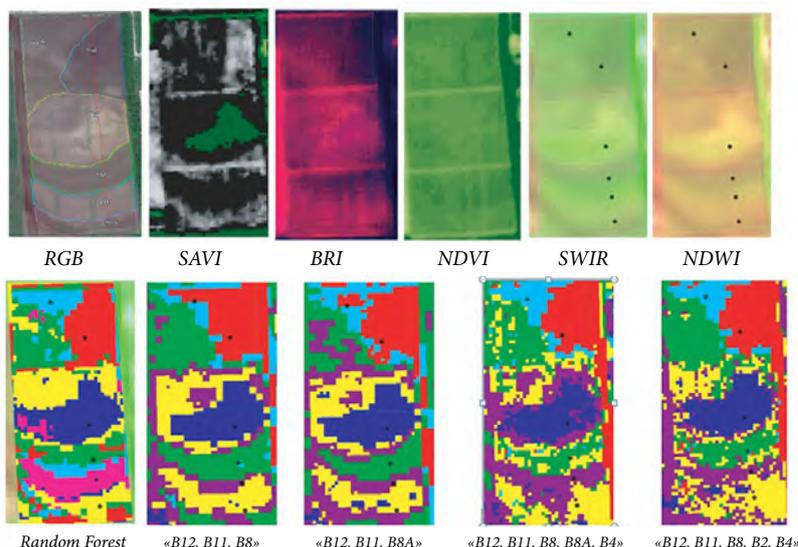


Таблица 2. Машинное распознавание изображения почвенной поверхности по набору спектральных каналов и композиции индексов
Table 2. Comparison of machine classification of soil surface images according to a set of spectral channels and composition of indices

Варианты почв (цвет на картограмме, рис. 2)	Набор каналов и нормализованных индексов					
	B12, B11, B8	B12, B11, B8A	B12, B11, B8, B8A	B12, B11, B8, B8A, B4	B12, B11, B8, B4, B2	Композит индексов RGB, NDVI, SAVI, BRI, SWIR. Визуальное определение
	Площадь почвенного участка, га					
1. Чернозем обыкновенный, мощный, глубоководный, тяжелосуглинистый, сформированный на гипсовых глинах (красный)	3,4	3,1	3,8	2,9	3,8	4,8/3,6
2. Чернозем южный, карбонатный, маломощный, гранулометрический, состав — супесь, сформированный на приморских песках (синий)	3,8	3,9	3,7	5,2	2,9	3,9/6,2
3. Чернозем обыкновенный, мощный, карбонатный, тяжелосуглинистый, сформированный на тяжелых суглинках и глинах (зеленый)	5,2	5,1	7,5	5,6	5,4	5,3/3,6
4. Чернозем южный, выщелоченный, мощный, среднесуглинистый, сформированный на лессовидных суглинках (сиреневый и фиолетовый)	6,1	5,0	4,2	5,4	7,1	3,0/2,8
5. Чернозем южный, карбонатный, мощный, среднесуглинистый, суглинистый, глубоко солонцеватый, сформированный на лессовидных глинах (желтый)	5,1	5,1	4,9	3,6	4,7	5,9/2,4
6. Чернозем южный глубоководный (голубой)	1,7	2,1	1,3	2,7	1,5	2,7/4,3
Квадратичное отклонение (RMSD)	1,49	1,15	1,31	1,66	1,91	1,82/2,01
Доверительный интервал (95%)	2,9–5,3	3,1–4,8	2,8–5,8	3,2–5,1	2,9–5,6	3,4–5,2/ 4,3–6,9

разделение между различными типами почвенной поверхности. На карте классификации были выделены следующие классы: глинистая почва (более 80% глины) расположена в южной части; суглинок (50% песка, 50% глины) преобладает в центральной части; песчаная почва (90% песка) встречается в северной части; супесчаная почва (50–70% песка) распределена равномерно по всей области. Контурные границы увлажненных участков поля могут меняться в зависимости от содержания солей, что отражается на одновременных снимках в изменении почвенных контуров и появлении переходных зон.

Почвы, имеющие характерную окраску из-за содержания гумуса, часто имеют пятнистую текстуру в общей картине почвенного покрова спектральных изображений. Гигроскопическая влажность почвы и содержание гумуса — основные отличительные цветовые признаки для выделения участков с разной почвенной структурой на основе нормализованных спектральных индексов

при использовании изображений Sentinel-2. Они являются достоверно различимыми характеристиками при детектировании морфометрических признаков поверхностного слоя почвы виноградного насаждения при использовании композиции спектральных индексов.

Для каждого набора спектральных каналов были рассчитаны квадратичное отклонение (RMSD) и доверительные интервалы с уровнем значимости 95% относительно композиции нормализованных индексов и визуального дешифрирования площадей участков с вариантами почв (табл. 2).

Наименьшее значение квадратичного отклонения (RMSD) среди всех рассмотренных наборов спектральных каналов было достигнуто при использовании комбинации спектральных каналов B11, B12, B8A. Доверительные интервалы подтверждают надежность данного набора каналов. Их комбинация является оптимальной для оценки плодородности почвенного покрова виноградных насаждений на основе данных дистанционного зондирования.

Выводы/Conclusions

Проведенное исследование наглядно показало техническую возможность эффективного использования спектральных данных спутниковых каналов Sentinel-2 для определения различий в почвенной поверхности виноградного насаждения. Анализ показал, что использование набора спектральных каналов B11, B12, B8A обеспечивает наилучшую точность выделения массивов участков по почвенному контуру, что подтверждается наименьшим значением квадратичного отклонения.

Эти результаты могут быть использованы для улучшения методов дистанционного мониторинга почв виноградных насаждений. Дальнейшие исследования могут быть направлены на повышение точности определения морфометрических показателей почв путем использования дополнительных спектральных и текстурных признаков, на проверку метода машинного распознавания по спектральным изображениям почвенной поверхности на более масштабных территориях.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Магомедов Г.Г., Магомедова Е.С. Оценка состояния почв плодородных виноградников Дагестана, находящихся в длительной эксплуатации. *Магарач. Виноградарство и виноделие*. 2022; 24(3): 242–247. <https://doi.org/10.34919/IM.2022.24.3.007>
- Усков И.Б., Кононенко О.В., Суханов П.А., Усков А.О. Анализ методик бонитировки почв и оценки продуктивности земель. *Агрохимический вестник*. 2023; (5): 81–89. <https://www.elibrary.ru/wfdmnd>
- Орлов В.А., Лукьянов А.А. Микрозонирование виноградных насаждений на основе разностных нормализованных индексов по космическим снимкам. *Плодоводство и виноградарство юга России*. 2022; (6): 248–262. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2022-6-78-248-262>

REFERENCES

- Magomedov G.G., Magomedova E.S. The estimation of soil conditions of fruit-bearing vineyards in Dagestan under long-term exploitation. *Magarach. Viticulture and Winemaking*. 2022; 24(3): 242–247 (in Russian). <https://doi.org/10.34919/IM.2022.24.3.007>
- Uskov I.B., Kononenko O.V., Suhanov P.A., Uskov A.O. Analysis of methods for assessing soils and assessing land productivity. *Agrochem herald*. 2023; (5): 81–89 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/wfdmnd>
- Orlov V.A., Lukyanov A.A. Microzoning of grape plantations on the basis of difference normalized indices from satellite images. *Fruit growing and viticulture of South Russia*. 2022; (6): 248–262 (in Russian). <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2022-6-78-248-262>

4. Быкова М.В., Власенко В.П. Лимитирующие почвенные характеристики, определяющие развитие и качество виноградников. *Мировые исследования в области естественных и технических наук. Материалы VI Международной научно-практической конференции*. Ставрополь: Параграф. 2023; 105–107. <https://www.elibrary.ru/vlgfdj>
5. Глазунов Г.П., Афонченко Н.В., Двойных В.В. Оценка влияния морфометрических показателей рельефа на плодородие черноземных почв. *Достижения науки и техники АПК*. 2020; 34(7): 10–18. <https://www.elibrary.ru/yujiru>
6. Незнаева А.М. Почвенно-экологические факторы, определяющие рост, развитие и качество винограда. *Научный журнал КубГАУ*. 2007; 32: 118–124. <https://www.elibrary.ru/jxulbp>
7. Власенко В.П., Быкова М.В. Методология оценки виноградопригодности почв (земель) и способы отображения их в градостроительной документации на примере земель Анапа-Таманской зоны Краснодарского края. *Московский экономический журнал*. 2022; 7(9): 12. https://doi.org/10.55186/2413046X_2022_7_9_553
8. Седых В.А., Савич В.И., Сукар Л., Мисюрева Е.В. Цветовая гамма почв, оцениваемая методами компьютерной диагностики, как индикатор генезиса и плодородия почв. *Плодородие*. 2020; (2): 40–43. <https://doi.org/10.25680/S19948603.2020.113.12>
9. Кириллова Н.П., Силева Т.М. Анализ цвета почв с использованием цифровой фотокамеры. *Вестник Московского университета*. Серия 17: Почвоведение. 2017; (1): 16–23. <https://www.elibrary.ru/xhrccd>
10. Мишин Б.С., Некрасова Т.А. Цвет и диагностика почв. *Наука и образование*. 2019; 2(4): 294. <https://www.elibrary.ru/sutdba>
11. Савич В.И., Крутилина В.С., Егоров Д.Н., Кашанский А.Д. Использование компьютерной диагностики для объективной характеристики цвета почв. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2004; (4): 38–51. <https://www.elibrary.ru/vtibvj>
12. Хомяков Д.М., Жулидова Д.А. К вопросу создания универсального алгоритма анализа и диагностики почв по цвету. *Агрофизика*. 2022; (3): 19–25. <https://doi.org/10.25695/AGRPH.2022.03.03>
13. Doğan B., Gülsel C. Assessment of soil quality for vineyard fields: A case study in Menderes District of Izmir, Turkey. *Eurasian Journal of Soil Science*. 2019; 8(2): 176–183. <https://doi.org/10.18393/ejss.551874>
14. 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>
15. Sassu A., Gambella F., Ghiani L., Mercenaro L., Caria M., Pazzona A.L. Advances in Unmanned Aerial System Remote Sensing for Precision Viticulture. *Sensors*. 2021; 21(3): 956. <https://doi.org/10.3390/s21030956>
16. Чурсин В.В., Кузевская И.В., Мерзляков О.Э., Валевиц Т.О., Ручкина К.В. Разработка алгоритма классификации данных спутникового зондирования на основе машинного обучения на примере гранулометрического состава почв агроландшафтов Западной Сибири. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2021; 18(2): 39–50. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2021-18-2-39-50>
17. Михеева И.В. Вероятностно-статистическая и информационная оценка современных процессов в природных объектах на основе данных почвенного мониторинга. *Вестник СГУиТ*. 2017; 22(4): 220–236. <https://www.elibrary.ru/ytzdyo>
18. Кириллова Н.П., Хомяков Д.М., Караванова Е.И., Азиков Д.А., Жулидова Д.А. Спектральные почвенные базы данных. *Вестник Московского университета*. Серия 17: Почвоведение. 2021; (2): 11–17. <https://www.elibrary.ru/upczzh>

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
<https://orcid.org/0000-0001-7317-9150>

Олеся Ивановна Михайловская

младший научный сотрудник
azosviv@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0001-1948-2041>

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

4. Bykova M.V., Vlasenko V.P. Limiting soil characteristics that determine the development and quality of vineyards. *World Research in the Field of Natural and Technical Sciences. Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference*. Stavropol: Paragraph. 2023; 105–107 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/vlgfdj>

5. Glazunov G.P., Afonchenko N.V., Dvoynikh V.V. Influence of morphometric terrain indicators on the fertility of chernozem soils. *Achievements of science and technology in agribusiness*. 2020; 34(7): 10–18 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/yujiru>

6. Neznaeva A.M. Soil-ecological factors, determining growth, development and quality of grape. *Scientific Journal of KubSAU*. 2007; 32: 118–124 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/jxulbp>

7. Vlasenko V.P., Bykova M.V. Methodology for assessing the viticultural suitability of soils (lands) and ways to display them in urban planning documentation on the example of lands of the Anapa-Taman zone of the Краснодар Territory. *Moscow economic journal*. 2022; 7(9): 12 (in Russian). https://doi.org/10.55186/2413046X_2022_7_9_553

8. Sedykh V.A., Savich V.I., Sukkar L., Misyureva E.V. Color soil spectrum assessed by computer diagnostic methods as an indicator of soil genesis and fertility. *Plodородие*. 2020; (2): 40–43 (in Russian). <https://doi.org/10.25680/S19948603.2020.113.12>

9. Kirillova N.P., Sileva T.M. Colorimetric analysis of soils using digital cameras. *Lomonosov Soil Science Journal*. 2017; (1): 16–23 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/xhrccd>

10. Mishin B.S., Nekrasova T.A. Color and diagnostics of soils. *Nauka i Obrazovaniye*. 2019; 2(4): 294 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/sutdba>

11. Savich V.I., Krutina V.S., Egorov D.N., Kashansky A.D. Use of computer diagnostics for objective soil color characterization. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2004; (4): 38–51 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/vtibvj>

12. Khomyakov D.M., Zhulidova D.A. On the issue of creating a universal algorithm for analyzing and diagnosing soils by color. *Agrofizika*. 2022; (3): 19–25 (in Russian). <https://doi.org/10.25695/AGRPH.2022.03.03>

13. Doğan B., Gülsel C. Assessment of soil quality for vineyard fields: A case study in Menderes District of Izmir, Turkey. *Eurasian Journal of Soil Science*. 2019; 8(2): 176–183. <https://doi.org/10.18393/ejss.551874>

14. Rybalko E.A. et al. Management of ground data and remote observations data processing aimed at vineyards remote monitoring. *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>

15. Sassu A., Gambella F., Ghiani L., Mercenaro L., Caria M., Pazzona A.L. Advances in Unmanned Aerial System Remote Sensing for Precision Viticulture. *Sensors*. 2021; 21(3): 956. <https://doi.org/10.3390/s21030956>

16. Chursin V.V., Kuzhevskaya I.V., Merzlyakov O.E., Valevich T.O., Ruchkina K.V. Design of satellite sensing data classification algorithm based on machine learning using the example of granulometric composition of soils in agricultural landscapes of Western Siberia. *Current problems in remote sensing of the Earth from space*. 2021; 18(2): 39–50 (in Russian). <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2021-18-2-39-50>

17. Mikheeva I.V. Probabilistic-statistical and information assessment of contemporary processes in natural objects on the basis of data of soil monitoring. *Vestnik SSUGT*. 2017; 22(4): 220–236 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/ytzdyo>

18. Kirillova N.P., Khomyakov D.M., Karavanova E.I., Azikov D.A., Zhulidova D.A. Soil spectral databases. *Lomonosov Soil Science Journal*. 2021; (2): 11–17 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/upczzh>

ABOUT THE AUTHORS

Vitaly Alexandrovich Orlov

Candidate of Agricultural Sciences,
Senior Research
vitorl@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3337-2970>

Alexey Alexandrovich Lukyanov

Candidate of Agricultural Sciences,
Senior Research
<https://orcid.org/0000-0001-7317-9150>

Olesya Ivanovna Mikhailovskaya

Junior Researcher
azosviv@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0001-1948-2041>

Anapa Zonal Experimental Station of Viticulture and Winemaking is a branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution “North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture and Winemaking”,
36 Pionersky Ave., Anapa, 353456, Russia