

Тема доклада:

**Оценка агропроизводственного потенциала виноградопригодных
земель по данным мультиспектральной съемки.**

Докладчик: Орлов В.А., канд. с.-х. наук, доцент.

Организация: ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр
садоводства, виноградарства, виноделия» (ФГБНУ СКФНЦСВВ),
г. Краснодар – г. Анапа, Россия.

Контакты: vitorl@yandex.ru.

ВВЕДЕНИЕ И АКТУАЛЬНОСТЬ

Проблема: традиционное детальное обследование ампелоценозов и отбор почвенных проб на больших площадях требуют критических финансовых и временных затрат.

Фактор риска: глобальные изменения климата усиливают засушливость и интенсифицируют процессы водной эрозии терруаров, напрямую влияя на кондиции сусла и снижая стабильность качества вин категории ЗГУ (Защищенного географического указания).

Решение: цифровизация педологии и прецизионное виноградарство на основе данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса. Автоматизированное выделение устойчивых **почвенных паттернов** (Spatial Soil Patterns) позволяет дифференцированно управлять потенциалом каждого микроучастка.

Нормативно-методический базис: работа выполнена в рамках государственного задания (тема FGRE-2022-0004.09) и опирается на разработанный авторами стандарт организации **СТО 00668034-183-2025** «Виноградные насаждения. Методика определения почвенных паттернов по данным дистанционного зондирования».

ОБЪЕКТ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ Исследования

Опытный участок: Виноградное насаждение сорта Шардоне (2019 г. посадки, подвой Кобер 5ББ, схема $2,5 \times 1,0$ м). Площадь — **23,46 га**. Локация — Анапский район Краснодарского края (п. Просторный), стык тяжелосуглинистых материковых и песчаных приморских пород.

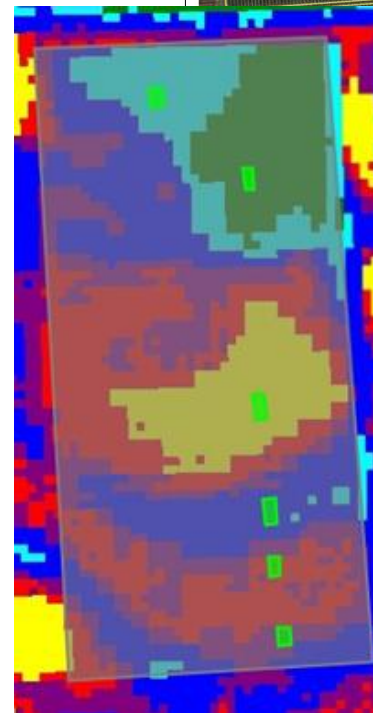
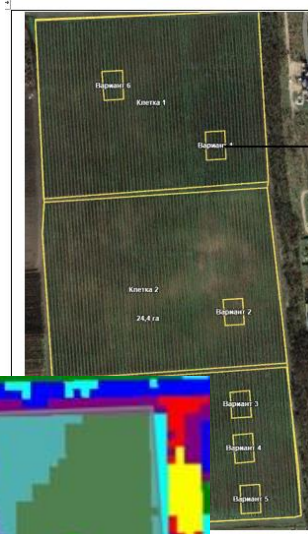
Данные ДЗЗ: Спутниковые мультиспектральные снимки **Sentinel-2** за период 2022–2025 гг. (разрешение 10–20 м) с применением облачной маски Fmask.

Аналитический стек: Облачная платформа Google Earth Engine (GEE), QGIS, языки JavaScript и Python 3.10 (библиотеки scikit-learn, geemap, pandas, matplotlib).

Машинное обучение: Классификатор **Random Forest** (ансамбль из 50–100 деревьев решений), обученный по географическим координатам точек наземных шурфов и агрохимических баз данных СКФНЦСВВ.

Используемая система нормализованных индексов

Почвенные маркеры: **CMR** (глинистые минералы), **NDSI** (содержание песка), **SI** (карбонатность), **SOCI** (органический углерод/гумус), **BI** (индекс яркости/эрозии). *Вегетационные маркеры:* **NDVI** (биомасса), **NDWI** (водный стресс), **SAVI** (с поправкой на фон открытой почвы), **ELI** (состояние листового аппарата).



Виноградник 24,3 га Анапского района, год посадки - весна 2019 года, сорт – Шардоне, схема посадки - $2,5 \times 1,0$ м.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ

Зонирование агропроизводственного потенциала

Интеграция данных ДЗЗ с результатами наземного анализа повысила точность классификации Random Forest на **13%** (общая точность по тестовой выборке составила **88%**, коэффициент Каппа $k > 0,8$).

Выделено 3 класса агропроизводственного потенциала земель (согласно СТО):

Высокий потенциал (40% площади): Черноземы тяжелосуглинистые. Гумус $\approx 3\%$, pH 6,5–7,0, высокий уровень подвижных P_2O_5 и K_2O .

Средний потенциал (35% площади): Склоновые среднесуглинистые почвы. Гумус $\approx 2\%$, pH 7,0–7,5, периодический дефицит почвенной влаги.

Низкий потенциал (25% площади): Маломощные супесчаные и карбонатные почвы. Гумус $< 1\%$, pH $> 7,5$, высокая щелочность и риск засухи.

Математическое моделирование продуктивности ампелоценоза

На основе многолетней динамики вегетационных индексов построена многофакторная регрессионная модель прогноза урожайности (коэффициент детерминации $R^2 = 0,86$)

Индикаторы стресса: Оптимальные пороги стабильной продуктивности составляют $NDVI > 0,50$; $NDWI > -0,40$; $ELI > 1,50$. Выход за данные границы сигнализирует о депрессии растений и водном стрессе куста.

Лидером фактической урожайности выступает высокогумусный влагоемкий микроучасток № 6 (3,37 кг/куст).

Спектральные паттерны и моделирование продуктивности

Спектральные паттерны почв и растительного покрова были выделены на основе индексов NDVI, NDWI, SAVI и ELI.

Анализ многолетней динамики показал выраженную чувствительность индексов к состоянию растений в фазу активного роста, а также различия между почвенными вариантами, особенно в условиях водного стресса.

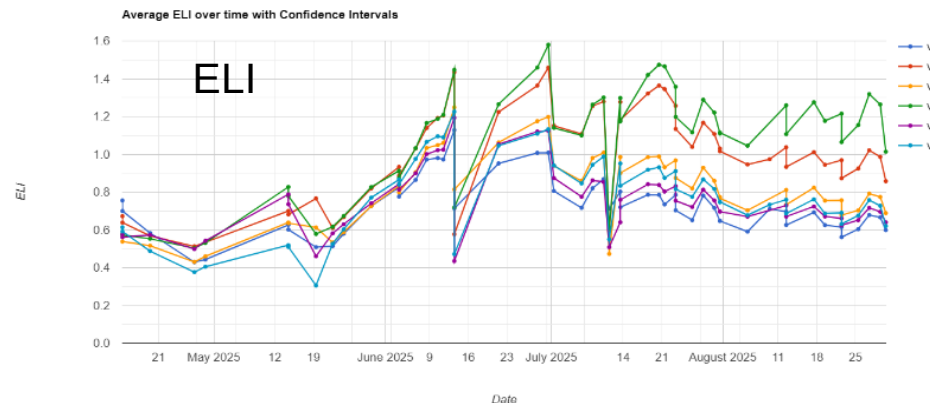
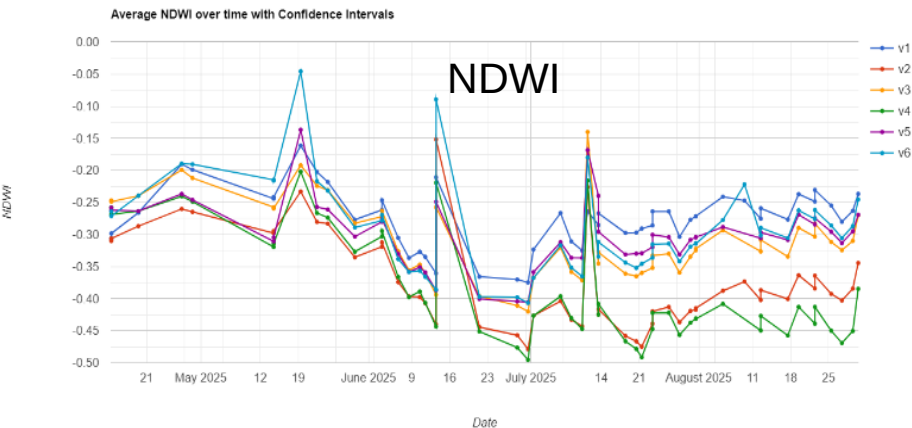
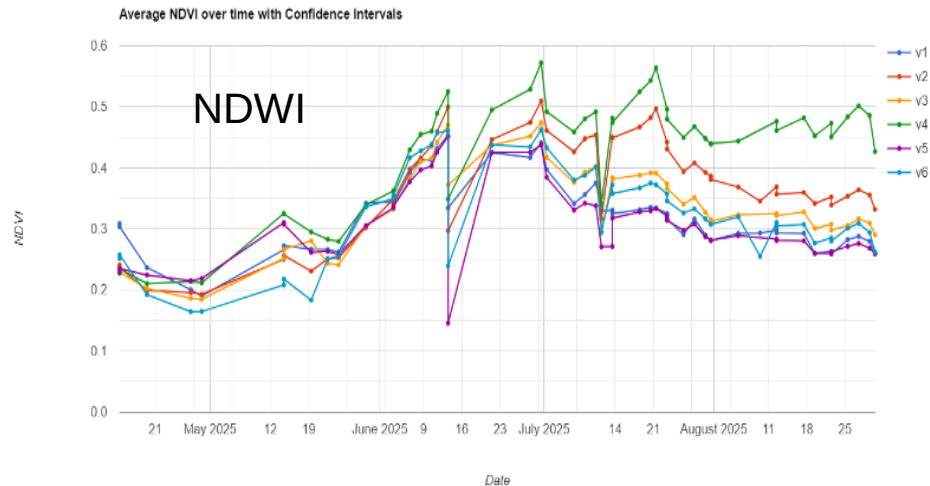
Вегетационные индексы как индикаторы:

- NDVI — биомасса (корреляция 0,84–0,88)
- NDWI — отражает водный стресс
- SAVI — учёт влияния почвы
- ELI — состояние листового аппарата

Оптимальные пороги продуктивности:

- NDVI > 0,50
- NDWI > -0,40
- ELI > 1,50

Выход показателей за пределы оптимальных значений приводит к выраженному снижению урожайности. Графики вегетационных индексов NDVI, NDWI, ELI для шести вариантов почвенных паттернов за вегетационный период 2025 г.



Модель продуктивности по спектральным индексам

На основе индексных данных построена модель:

$$Y = 2,18 \cdot NDVI + 0,87 \cdot NDWI + 0,41 \cdot ELI - 0,52$$

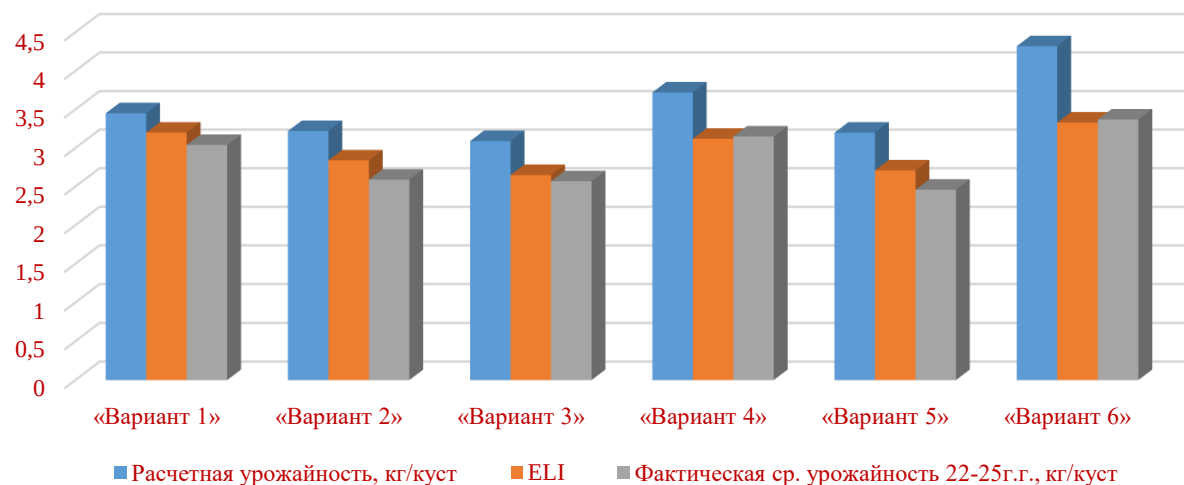
Где NDVI — индексы первого порядка для оценки продуктивности виноградника, NDWI — индикатор водного баланса и риска засухи, ELI — показатель физиологического состояния кроны.

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,86$, т.е. модель объясняет 86% изменчивости зависимой переменной. Коэффициенты корреляции (r) спектральных индексов с урожайностью составили: NDVI — 0,88; NDWI — 0,63; ELI — 0,81.

Сочетание значений $NDVI > 0,5$, $NDWI > -0,4$, $ELI > 1,5$ соответствует оптимальным условиям вегетации и максимальной продуктивности.

ELI ($r = 0,81$) — показывает, что увеличение листового индекса прямо связано с ростом урожайности

Сравнение урожайности со значениями индекса ELI



Преимущества модели:
Объясняет более 85% изменчивости урожайности
Учитывает локальные различия индекса вегетации растений
Надёжный инструмент для оперативного прогноза состояния насаждений по спутниковым данным

Аналитический блок: урожайность и климатические факторы

Оценка урожайности по данным агроучётов.

Исследование показало устойчивую дифференциацию продуктивности между шестью почвенными вариантами. Наиболее высокие значения отмечены в вариантах 4 и 6, тогда как варианты 2 и 3 характеризуются пониженной урожайностью, что согласуется с их агрохимической спецификой.

Вариант	Фактическая ср. урожайность 22-25г.г., кг/куст	Расчётная ср. урожайность 22-25г.г., кг/куст	Группа продуктивности	Особенности
«Вариант 6»	3.37	4.32	A	Лидер по урожайности, максимум калия (37 мг/100г), высокий гумус (2,1%)
«Вариант 4»	3.15	3.72	B	Сбалансированный состав, идеальный pH (6,8), стабильная урожайность
«Вариант 1»	3.04	3.45	B	Максимум фосфора (11,1 мг/100г), высокая масса гроздей
«Вариант 2»	2.59	3.22	C	Низкий гумус (0,58%) и калий, повышенный риск засухи
«Вариант 3»	2.57	3.09	C	Высокие карбонаты, низкий фосфор (1,6 мг/100г), проблемная щелочность
«Вариант 5»	2.46	3.2	C	Средний гумус, щелочная реакция, дефицит фосфора



Динамика осадков:

На основе многолетних данных установлено, что 2025 год стал самым засушливым за весь наблюдаемый период: Снижение запасов влаги отразилось на снижении урожайности в чувствительных вариантах (2 и 3), но Варианты 4 и 6 показали устойчивость, что связано с лучшей структурой почв и способностью удерживать влагу.

Модель связи урожайности с помесечными объёмами осадков:

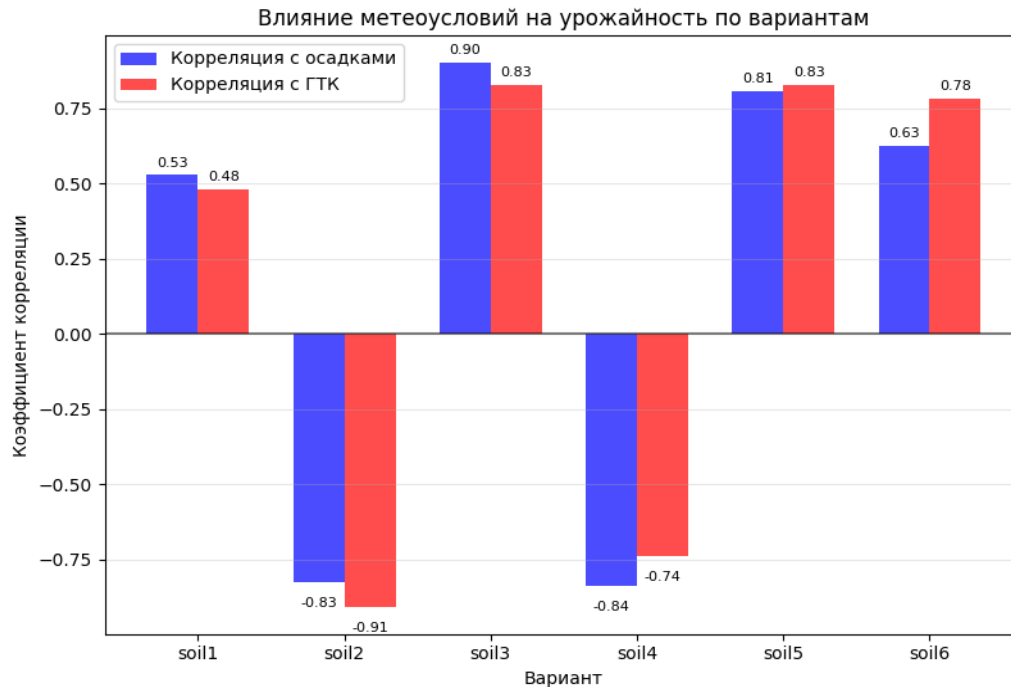
$$Y = 6,358 + 0,032 \times P_6 - 0,041 \times P_7 + 0,028 \times P_8,$$

где Y — прогнозная урожайность (кг/куст); P_6, P_7, P_8 — сумма осадков (мм) в июне, июле и августе соответственно. Коэффициент детерминации: $R^2=0,74$

Особенности модели:

- Июньские осадки оказывают положительное влияние на развитие куста;
- Избыточные осадки в июле приводят к снижению продуктивности;
- Августовская влага играет поддерживающую роль.

Корреляция с осадками и ГТК урожайности вариантов почвенных участков



Коэффициенты корреляции урожайности виноградного растения с осадками и ГТК почвенных участков оказались положительными для «Вариантов 1, 3, 5 и 6» и отрицательными для «Вариантов 2 и 4». Максимальное зависимость урожайности от метеоусловий — для «Вариант 3 и 5», а минимальное для «Вариант 2 и 4».

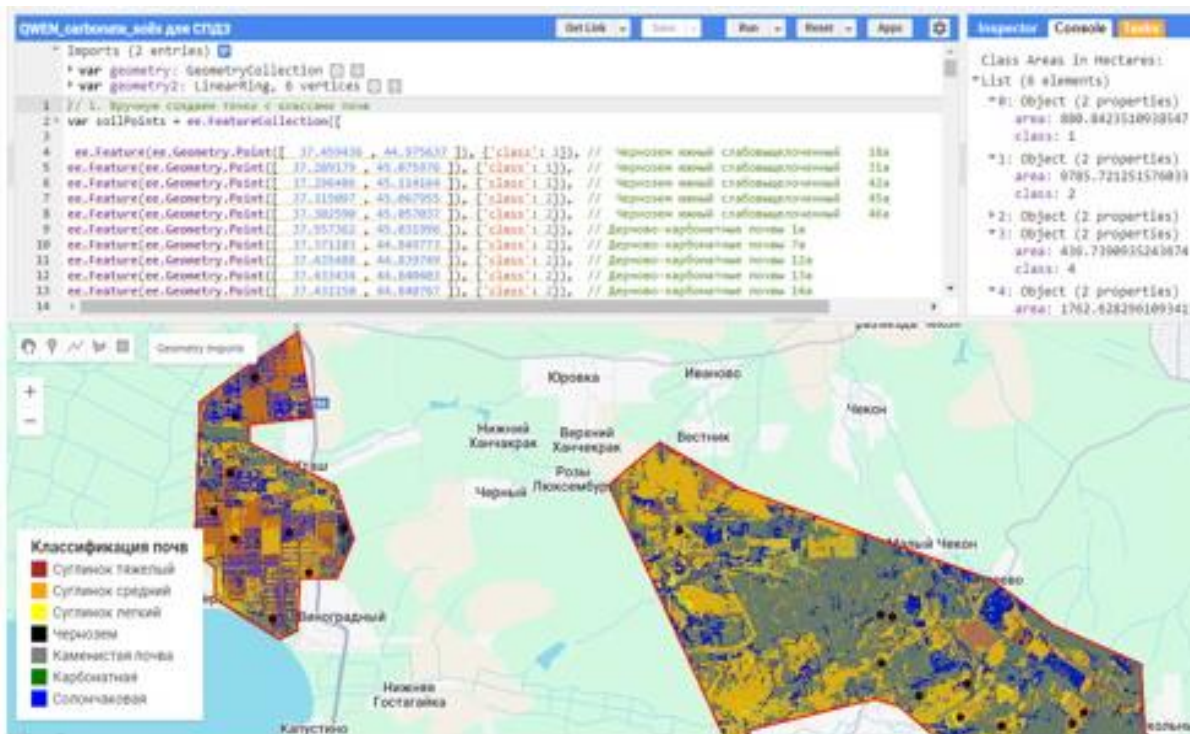
Характеристика выделенных спектральных паттернов

В композиции индексов NDVI, SAVI, NDWI и ELI, выделены три устойчивых типа спектральных паттернов. Каждый из них отражает совокупность почвенных, морфометрических и водно-физических свойств участка, а также состояние виноградного растения в разные фенологические фазы. Полученные паттерны воспроизводятся из года в год, что указывает на стабильность почвенно-терруарных различий.

Сопоставление паттернов с фактической урожайностью позволило выделить три группы:

- Группа А (высокая продуктивность): соответствует паттерну 1;
- Группа В (средняя продуктивность): соответствует паттерну 2;
- Группа С (пониженная продуктивность): соответствует паттерну 3.

Разработанная нами программа на основе данных Sentinel-2 и базы данных почвенных проб позволяет автоматически распознавать виноградопригодные почвы Анапского и Темрюкского районов по терруарным паттернам.



Технологическая верификация и заключение

Верификация качества вина: мониторинг (2022–2025 гг.) показал, что стабильные тяжелосуглинистые черноземы (паттерны 1, 3, 6) обеспечили максимальное накопление приведенного экстракта в сухих виноматериалах Шардоне — **до 23,7–23,9 г/дм³** (при норме ЗГУ не менее 17,0 г/дм³) и оптимальный глюкоацидометрический показатель созревания ягод (2,8–3,1).

Устойчивость в засуху: В экстремально засушливом 2024 году легкие супесчаные почвы за счет специфики доступности капиллярной влаги минимизировали водный стресс насаждений. Дегустационная оценка вина с этого участка составила **84,6 балла**, превзойдя среднесуглинистые склоновые варианты.

Практическая ценность: Объединенный в модуле «Spectrosoil-vin» комплекс моделей позволяет предприятиям отказаться от тотальных почвенных анализов, оперативно выявлять очаги эрозии и точно дифференцировать нормы полива, питания и почвенной защиты (мульчирование, задержание междурядий).

Практическая значимость

Полученные результаты позволяют:

- Выявлять участки с риском потери продуктивности
- Оценивать водный стресс и прогнозировать его влияние на урожай
- Картировать терруарные паттерны с учётом агрохимии и спектральных данных
- Прогнозировать продуктивность по спутниковым индексам
- Оптимизировать агротехнические решения (полив, питание, механическая обработка)
- Интегрировать данные в модуль Spectrosoil-Vin для цифровых систем управления виноградниками

Модели (климатическая и спектральная) образуют единый модуль, которые используются совместно как для научного анализа, так и для регулярного мониторинга агропроизводственного потенциала виноградопригодных земель.