

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОЦЕНКА ВОДНОЙ ЭРОЗИИ ПОЧВ НА ВИНОГРАДНИКАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Актуальность

- Водная эрозия снижает плодородие и урожайность виноградников.
- Традиционные модели (RUSLE, ORUSCAL) завышают потери.
- Необходимы методы с учётом агротехники и спектральных признаков.

Водная эрозия в междурядьях виноградника



Цель и задачи

Цель: разработать индексную модель оценки эрозии на основе данных Sentinel-2 и машинного обучения.

Задачи:

- Учесть рельеф (уклон, экспозиция), почвенные свойства и осадки;
- Модифицировать классические модели;
- Сравнить расчётные модели с полевыми данными;
- Автоматизировать картирование эрозионных форм.

Материалы и методы

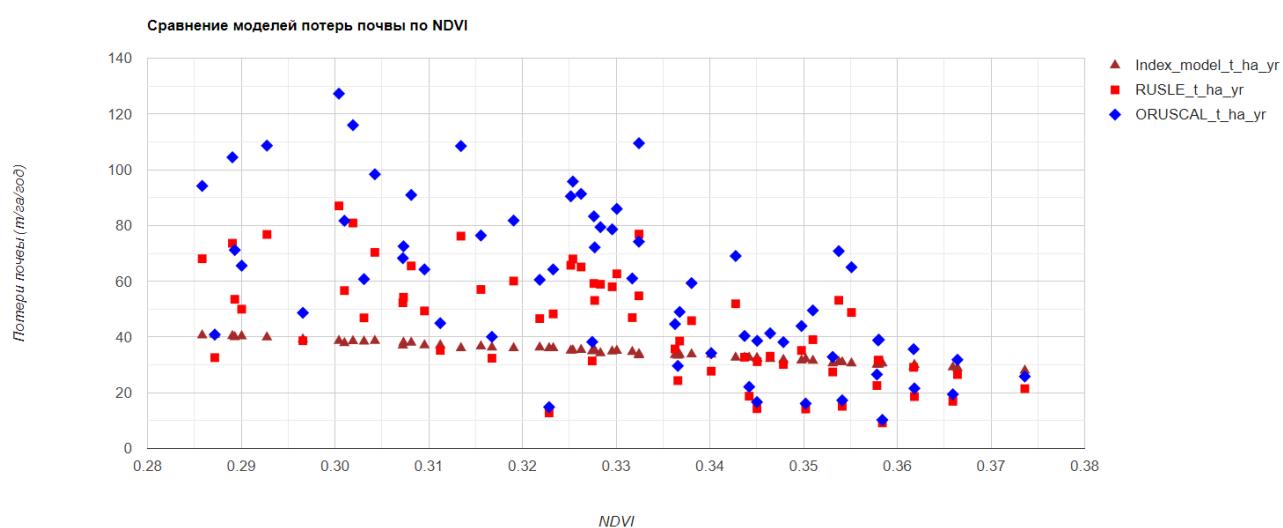
- **Объект:** виноградники Краснодарского края (уч. у пос. Веселовка, 43 га).
- **Данные:** Sentinel-2 (2021–2024), DEM (NASADEM), осадки (CHIRPS), почвы (OpenLandMap).
- **Модели:**
 - RUSLE (эмпирическая),
 - ORUSCAL (адаптация для садов),
 - Index model (спектральные индекса NDVI, BSI, ELI).
- **Алгоритм:** Random Forest для распознавания линейной и плоскостной эрозии.

Для автоматизированного распознавания эрозионных форм методом машинного обучения разработан скрипт на основе обучающей выборки снимков Sentinel 2 с 2021–2024 гг. При расчете динамического C -фактора, использовался комбинированный индекс из трех индексов – $NDVI$, BSI , ELI :

$$C_{\text{-фактор}} = 1 - NDVI \cdot \exp((ELI - BSI) / (BSI + ELI)),$$

где индекс $NDVI$ оценивает растительность, BSI – оголенность почвы, ELI – эрозионную нагрузку.

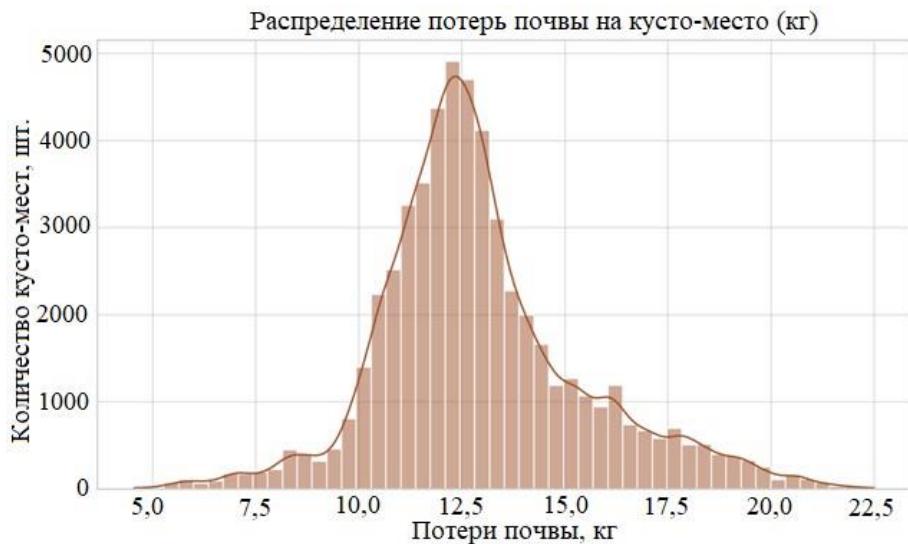
Рассеивание значений потерь почвы в моделях: RUSLE, ORUSCA, Index model в зависимости от значения индекса NDVI



Результаты

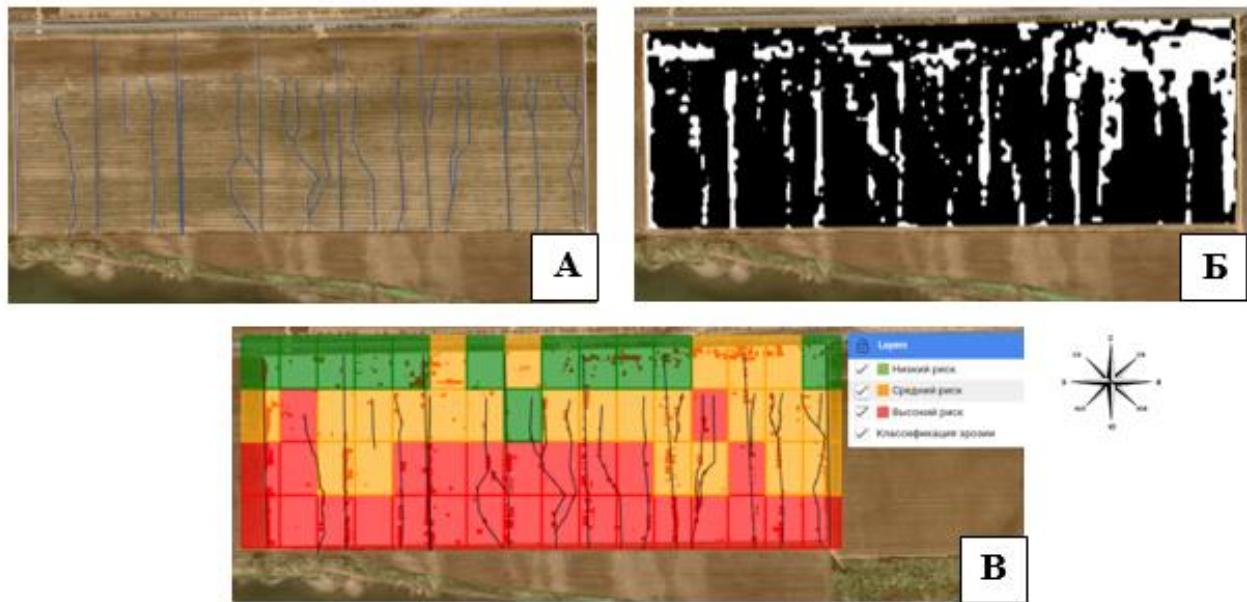
- На участке выявлены эрозионные борозды длиной 3179 м (3,5 га).
- Средние потери почвы с виноградника – Индексная модель: 19,4 т/га/год (ближе к натурным данным); RUSLE: 44,5 т/га/год; ORUSCAL: 59,3 т/га/год; Полевые расчёты по размерам промоин: 74 т/га/год.
- Автоматическое распознавание эрозионных форм — точность 89%.
- Учёт агротехники (направление рядов, возраст кустов) позволяет снизить прогнозные потери на 30–50%.

Гистограмма распределения потерь почвы по количеству кусто-мест



Остальные индексы не оказали значимого влияния на вариативность С-фактора. В результате машинной обработки 256 снимков Sentinel-2 за 4 летний период в автоматизированном режиме были выявлены участки виноградника с линейными и плоскостными видами водной эрозии:

Карта эрозионных форм



А – эрозионные борозды, выделенные визуально по RGB космоснимку; Б - программное распознавание плоскостной и линейной эрозии по спектральным индексам спутниковых снимков; В –зоны эрозионного риска: зеленый – низкий, оранжевый – средний, красный – высокий.

Сравнение моделей

Модель	Средние потери, т/га/год	Особенности
RUSLE	44,5	завышение потерь почвы на склонах
ORUSCAL	59,3	сильная зависимость от экспозиции
Index model	19,4	наиболее согласована со средними потерями с насаждения
Полевые	74,0	завышение потерь почвы по промоинам

Выводы

- Index model — более устойчивая и адаптивная для виноградников.
- Традиционные модели (RUSLE, ORUSCAL) требуют существенной калибровки.
- Использование ДЗЗ и машинного обучения снижает затраты на мониторинг.
- Методика применима для практики хозяйств и разработки почвозащитных мер.
- Модель может служить основой для дистанционного мониторинга водной эрозии почвы виноградных насаждений.

КОНТАКТЫ

АЗОСВиВ (Анапская зональная опытная станция виноградарства и виноделия – филиал Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства и виноделия, Анапа, Российская Федерация)

Орлов В.А.: vitorl@yandex.ru

Лукьянов А.А.: azos@mail.ru