Формирование опорных данных для спутниковой оценки проективного покрытия пастбищной растительности на основе наземных плановых фотографий

[1]Богодухов М.А.
[1]Барталев С.А.
[1]Шинкаренко С.С.

(1) ИКИ РАН

Двадцать четвертая международная конференция
«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА»
9-13 ноября, 2026
Москва, ИКИ РАН

Проективное покрытие как индикатор состояния пастбищ

Актуальность

- Проективное покрытие (ПП) — ключевой индикатор степени деградации пастбищ. Показатель рассчитывается как доля площади горизонтальной проекции надземных частей растительности на поверхность почвы.

- Отклонение ПП от зональной нормы позволяет выявлять локальные климатические изменения и чрезмерную пастбищную нагрузку.

- Для обширных территорий востребован ежегодный мониторинг ПП по спутниковым данным Дистанционного Зондирования Земли. Однако спутниковые оценки нуждаются в калибровке по обширному репрезентативному массиву наземных данных.

- Наиболее распространены следующие **методы** получения **наземных данных**:
  - **Глазомерный**. Субъективен и слабо стандартизирован.
  - **Инструментальный**. Трудоёмок и зависит от квалификации эксперта.

Цель работы

- Разработка методики формирования опорных данных спутниковой оценки проективного покрытия пастбищной растительности на основе наземных плановых фотографий.

Существующие методы к оценке ПП и их ограничения

Метод	Преимущества	Ограничения
Глазомерный	Высокая скорость Низкая трудоёмкость	Субъективность Слабая стандартизация Зависимость от квалификации эксперта
Инструментальный	Высокая точность Учёт ПП по ярусам растительности Учёт мортмассы и открытой почвы	Значительная трудоёмкость Зависимость от параметров инструментов Зависимость от квалификации эксперта
Наземные плановые фотографии	Объективность Стандартизируемость Возможность повторного анализа Низкая трудоёмкость	Возможно систематическое занижение ПП из-за маскирующего эффекта мортмассы Зависимость результата от соблюдения протокола съемки

Формирование опорных данных на основе наземных плановых фотографий

- Протокол съемки:
  - Съёмка в пределах пробной площади на нескольких учетных площадках размером 50×50см (Рис.1.1) в надир;
  - Затенение зоны съёмки от прямых солнечных лучей зонтом для рассеянного освещения

- Камеральная обработка:
  - Кадрирование по внутреннему контуру рамки (Рис. 1.2)
  - Определение ПП в полуавтоматическом режиме в программном обеспечении CAN-EYE: пороговая сегментация (Рис. 1.3)
  - Усреднение значений ПП по учётным площадкам до одного значения на пробную площадь, характеризующего ПП в пределах пикселя Sentinel-2

- Результат: опорные данные для спутниковой оценки ПП

1.1



1.2



1.3

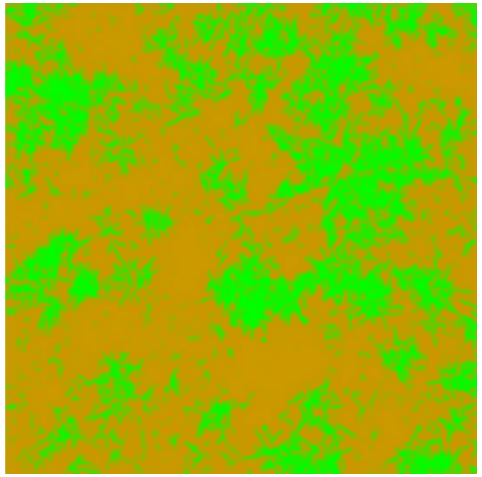


Рис. 1. Иллюстрация наземной плановой фотографии до (1.1), после (1.2) кадрирования и результат определения ПП (1.3) в CAN-EYE

Территория и объём полевых исследований

- Территория исследования:
  - Юго-восток европейской части России в осенний период 2025 года

- Объём собранных данных:
  - Более 1000 фотографий на 200 пробных площадях в пределах 40 тестовых полигонов

- Выбор расположения тестовых полигонов:
  - Выполнен предварительный анализ NDVI (MODIS, Sentinel-2) для охвата максимального диапазона значений NDVI в период обследований.
  - Охват диапазона обеспечивает репрезентативность калибровочной зависимости

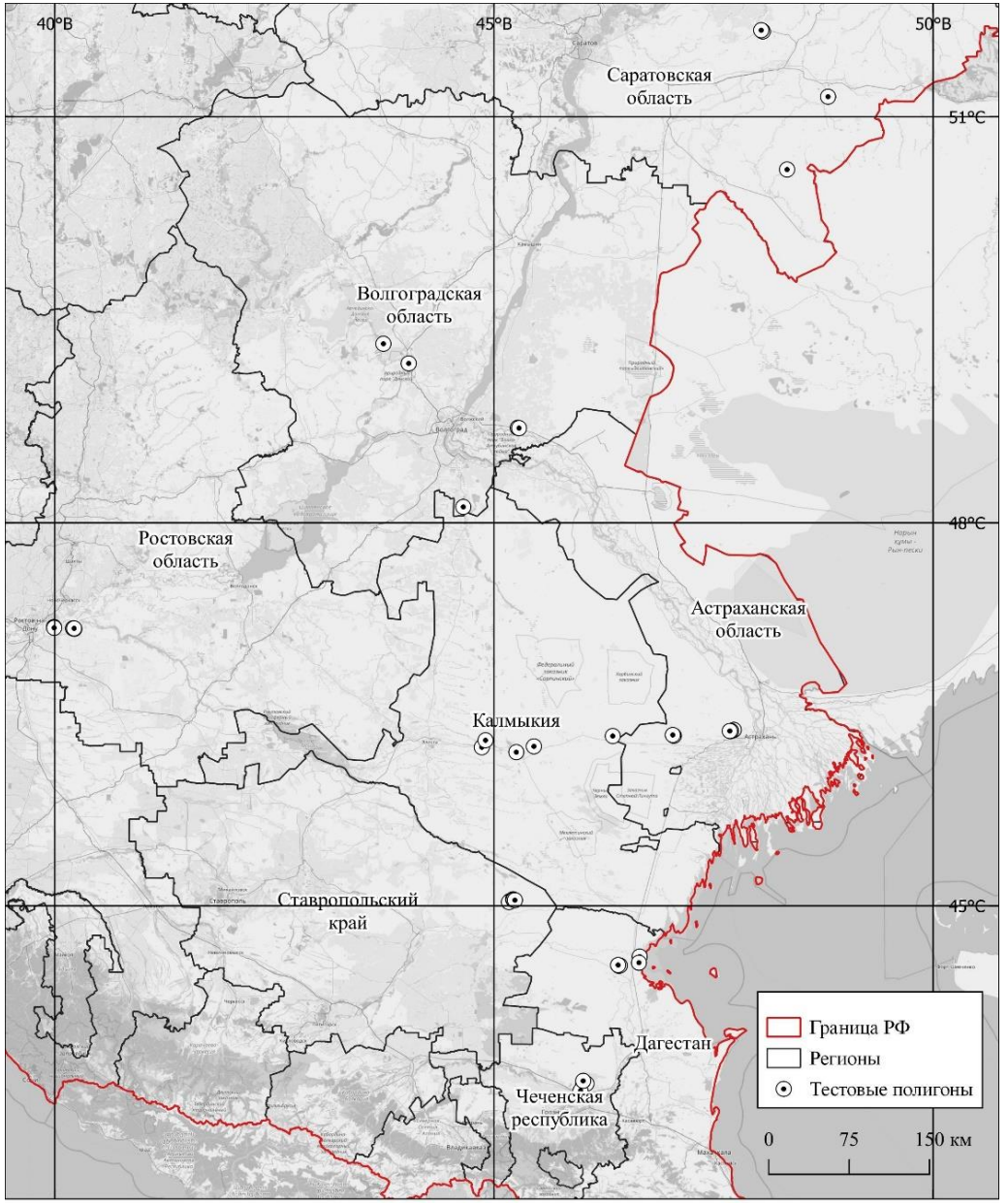


Рис. 2. Расположение тестовых полигонов

Связь ПП с NDVI

- Проанализировано более 40 спектрально-отражательных характеристик: коэффициенты спектральной яркости во всех диапазонах Sentinel-2 и другие спектрально-отражательные индексы
- NDVI показал наиболее устойчивую связь с ПП

Рис. 3.1. Глазомерная оценка на месте (разные эксперты)

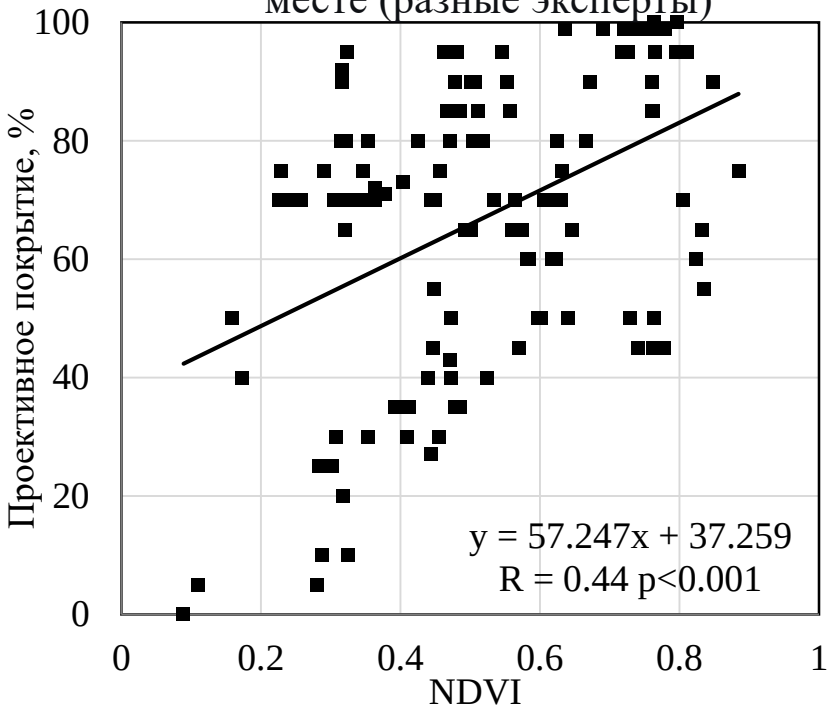


Рис. 3.2. Визуальная интерпретация экспертом плановых фотографий

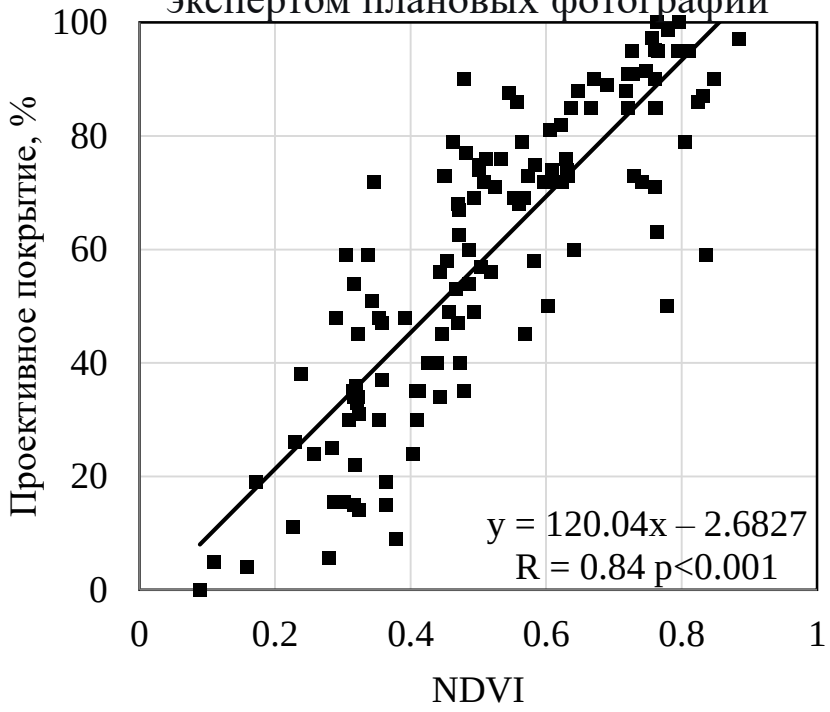
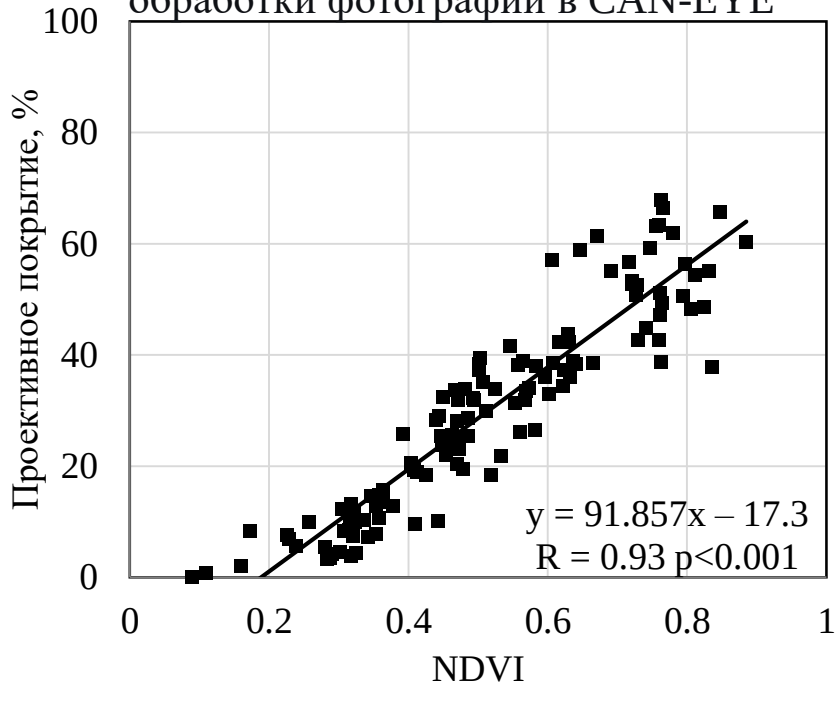


Рис. 3.3. Результаты полуавтоматической обработки фотографий в CAN-EYE



- Использованы пятидневные композитные изображения Sentinel-2 и MODIS, очищенные от влияния облачности и теней от облаков
- Связь усиливается при переходе от глазомерных оценок разных экспертов (R = 0.44, рис. 3.1) к экспертной интерпретации фотографий одним экспертом (R = 0.84, рис 3.2)
- Максимальная связь достигается при полуавтоматической обработке в CAN-EYE (R = 0.93, рис 3.3)

Дальнейшие исследования.
Автоматизация оценки ПП на плановых фотографиях

- Недостатки полуавтоматического режима CAN-EYE:
  - При сильном преобладании растительности или почвы на снимке автоматический поиск порога может определяться некорректно
  - Эксперт участвует в обработке каждого снимка, при необходимости корректирует порог разделения классов
  - Остаётся небольшая субъективность из-за ручной коррекции порога
  - Ручная обработка ограничивает масштабируемость метода

- Решение:
  - Переход к модели машинного обучения Random Forest для автоматизации процесса оценки ПП
  - Для обучения модели случайным образом отобрано по 1 фотографии с каждого тестового полигона (всего 40), представляющих разные типы растительности
  - Эксперт вручную выполнил разметку классов для бинарной классификации
  - Обученная модель применена ко всему массиву фотографий без участия эксперта

- Результат:
  - Модель обучается один раз. Далее применяется без участия эксперта
  - Модель устойчива к преобладанию растительности или почвы на снимке

Результаты применения Random Forest для оценки ПП

- Изменения:
  - Разброс ПП увеличился: ранее значения визуально концентрировались в трёх кластерах (низкие, средние, высокие), теперь распределение внутри диапазонов стало шире, появились отдельные точки, выбивающиеся из общей зависимости
  - Угол наклона линии тренда увеличился, при этом корреляция снизилась из-за возросшего разброса значений

- Возможные причины:
  - При пороговой классификации на снимках с сильным преобладанием растительности или почвы порог разделения классов может определяться некорректно, что приводит к завышению или занижению ПП. При усреднении по нескольким фотографиям эти отклонения сглаживались, смещая значения к центрам диапазонов. При применении универсальной модели ошибки определения порога на отдельных снимках не накапливаются при усреднении, поэтому разброс значений ПП увеличился
  - Растительность может быть мозаичной, и 5 фотографий учётных площадок не всегда полностью характеризуют пробную площадь; для более качественной оценки необходимо больше фотографий

Рис. 4.1. Использование CAN-EYE

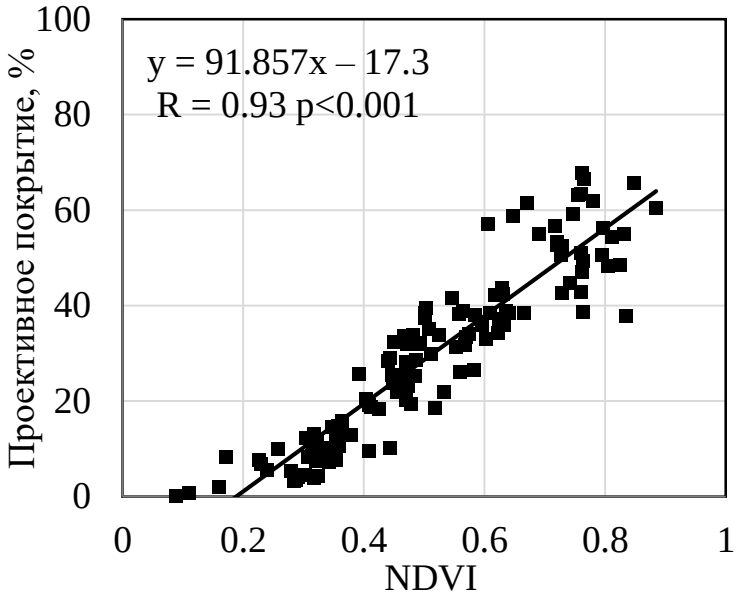
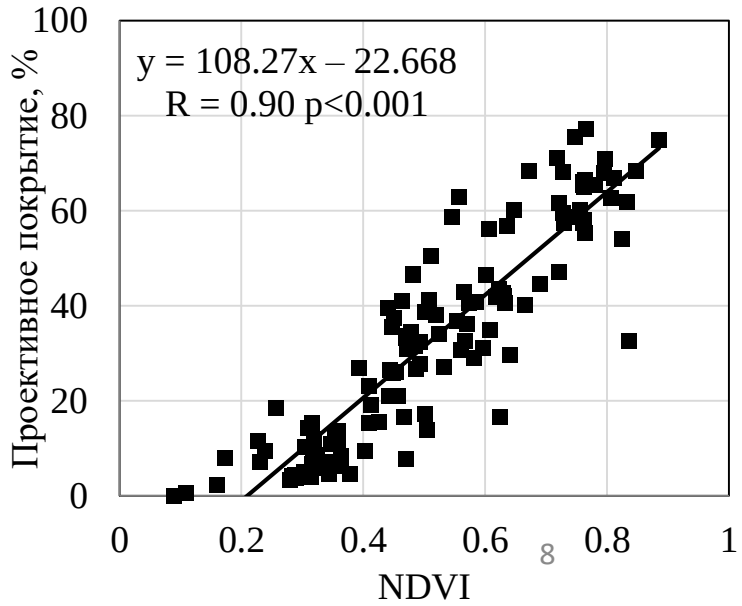


Рис. 4.2. Использование Random Forest



Выводы и перспективы

- **Выводы:**
  - Плановая фотосъёмка обеспечивает объективную и сопоставимую оценку ПП
  - Связь ПП с NDVI усиливается при переходе от глазомерных оценок к полуавтоматической и автоматической обработке
  - Использование Random Forest позволило усилить степень автоматизации оценки ПП и устранить ограничения пороговой классификации
  - Представленный метод обеспечивает возможность формирования качественных опорных данных спутниковой оценки ПП

- **Перспективы:**
  - Автоматизация кадрирования снимков по внутреннему контуру рамки
  - Расширение территории исследования с ежегодным сбором данных
  - Накопленный массив данных позволит обучать более точные региональные модели, выполнять многолетний мониторинг по отклонениям ПП от зональной нормы

Работа выполнена в рамках темы ИКИ РАН «Мониторинг» (госрегистрация № 126031818938-6) с использованием сервиса «Вега-Science» (Loupian et al., 2022) и инфраструктуры Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» (Лупян и др., 2015).