Возможности детектирования массы стерни зерновых на основе спектрометрирования в видимом и ИК диапазонах: результаты лабораторного моделирования

Виндекер Г.В. [1], Савин И.Ю. [1,2], Ребух Н.Я. [1,2], Жулидова Д.А. [1,3], Орлова К.С. [1]

[1] ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева»
[2] РУДН им. Патриса Лумумбы
[3] МГУ имени М.В. Ломоносова
***gretelericka@gmail.com**



Почвенный институт
им. В.В. Докучаева

Пожнивные остатки играют важную роль в функционировании агроэкосистем: они влияют на водный и тепловой режим почвы, эмиссию углерода и продуктивность последующих культур. Однако количественная оценка массы стерни по данным дистанционного зондирования остаётся сложной задачей. Главная причина — смешанный характер сигнала: в поле зрения сенсора одновременно попадают почва, растительные остатки и, нередко, сорная растительность. В рамках лабораторного эксперимента исследовалось, как масса стерни отражается в спектрах VIS-NIR, и как на эту связь влияют тип подстилающей поверхности (фон) и высота растений в пределах одной фазы развития.

Эксперимент выполнен на 60 сосудах с пшеницей (диаметр 18 см). Растения выращивали в трёх группах, различающихся высотой на момент прекращения полива. В каждой группе варьировали густоту посева, что обеспечило градиент массы стерни.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №25-46-02010
https://rscf.ru/project/25-46-02010/

МЕТОДЫ

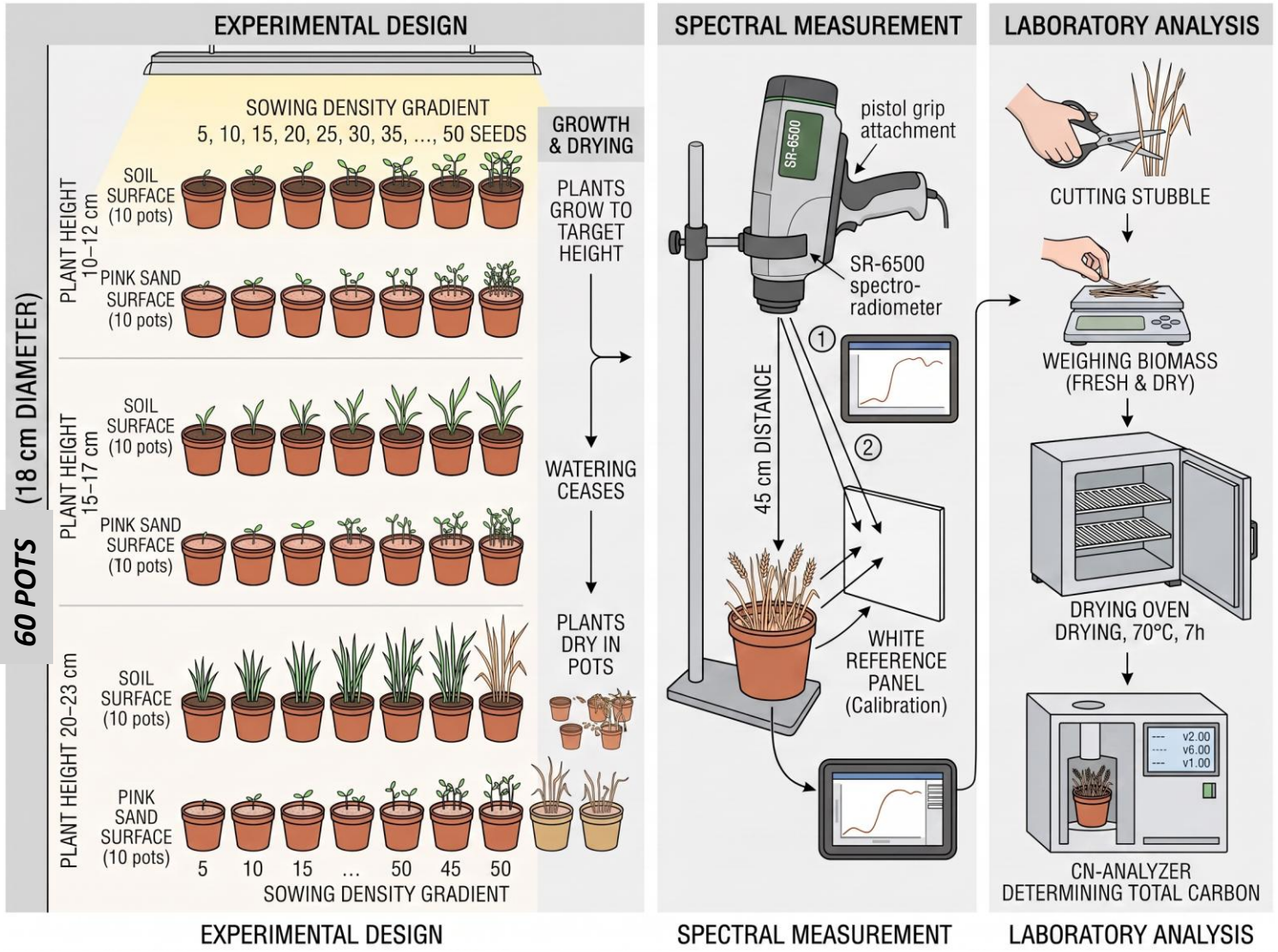
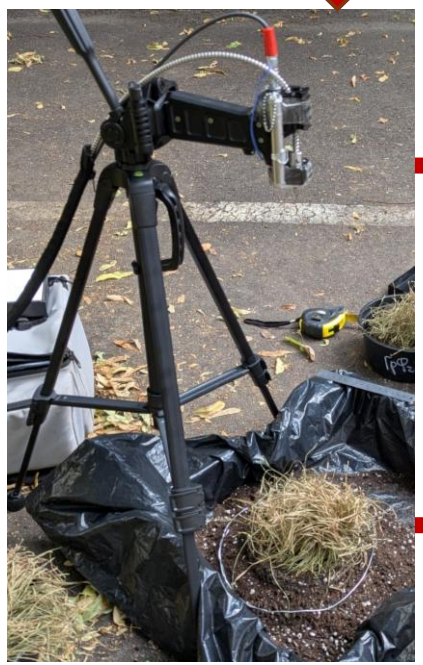


Схема полного эксперимента

*В данной работе представлены результаты по измерению массы стерни и спектров (левая и центральная части); анализ углерода — следующий этап исследования.





SR-6500 спектрорадиометр
Съёмка спектров во дворе Института



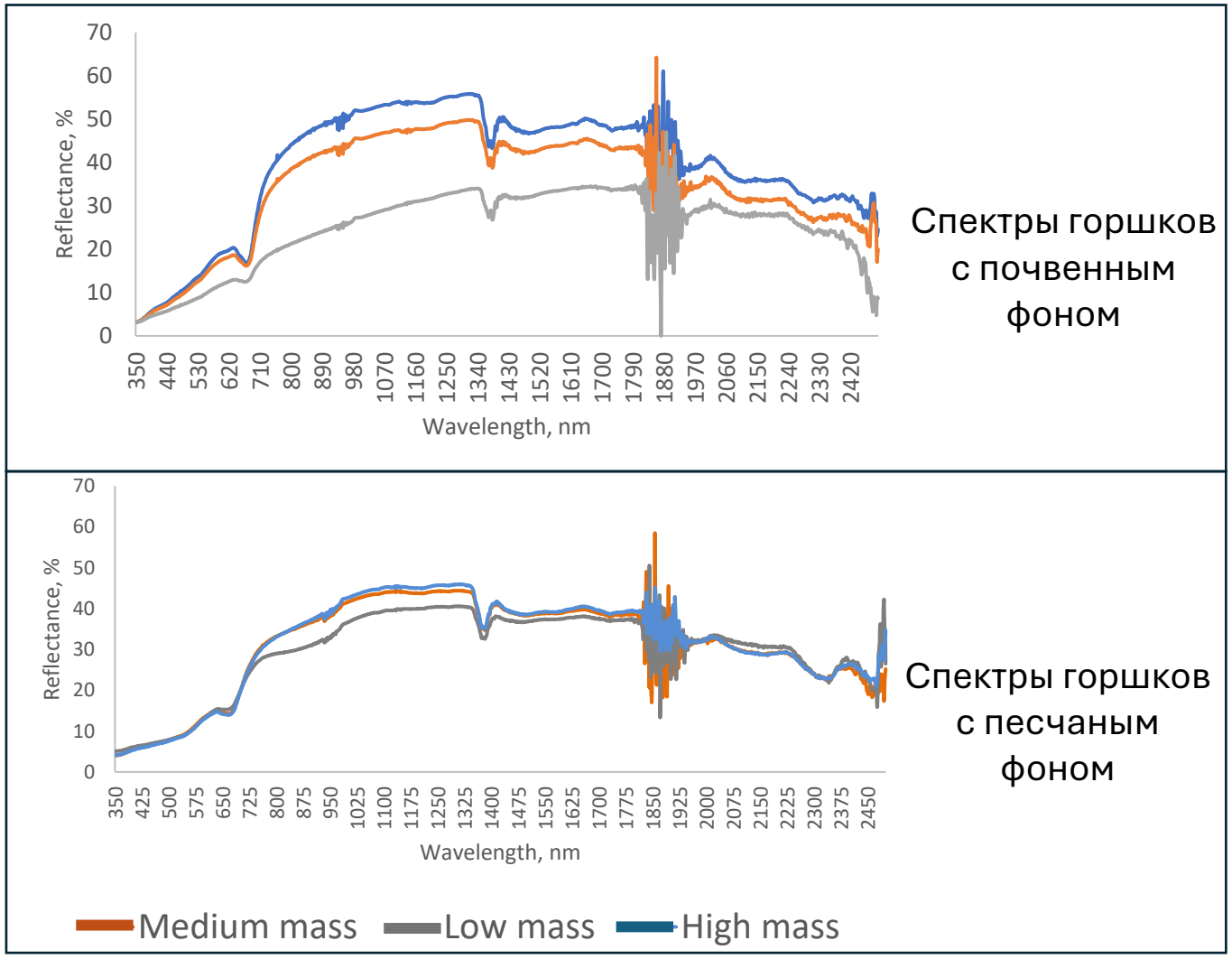
Песчаный контрастный фон



Почвенный фон

РЕЗУЛЬТАТЫ

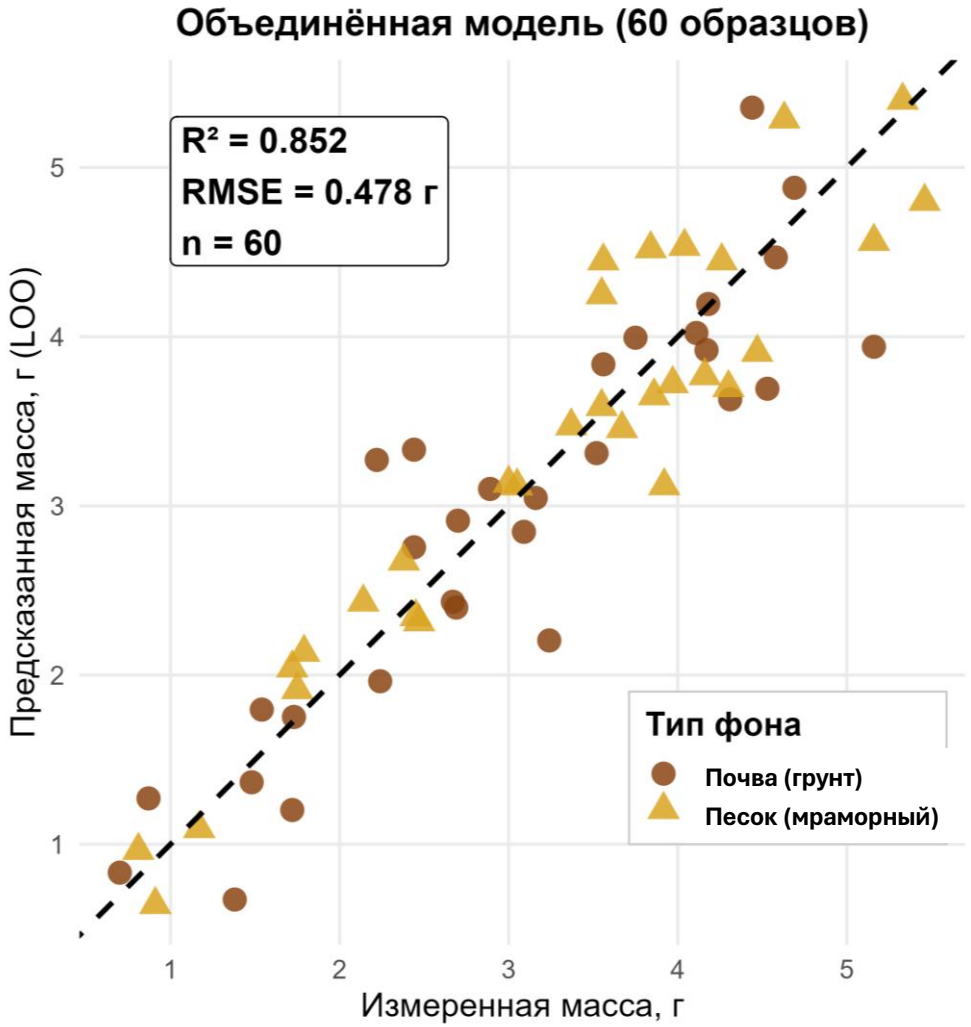
Для оценки массы применяли метод PLSR с кросс-валидацией LOO. Для доверительных интервалов - бутстрэп (1000 итераций).



Спектры горшков с почвенным фоном

Спектры горшков с песчаным фоном

Спектральные кривые закономерно изменяются с ростом массы (чем больше масса, тем выше положение кривой). Влияние фона проявляется в изменении абсолютного уровня отражения

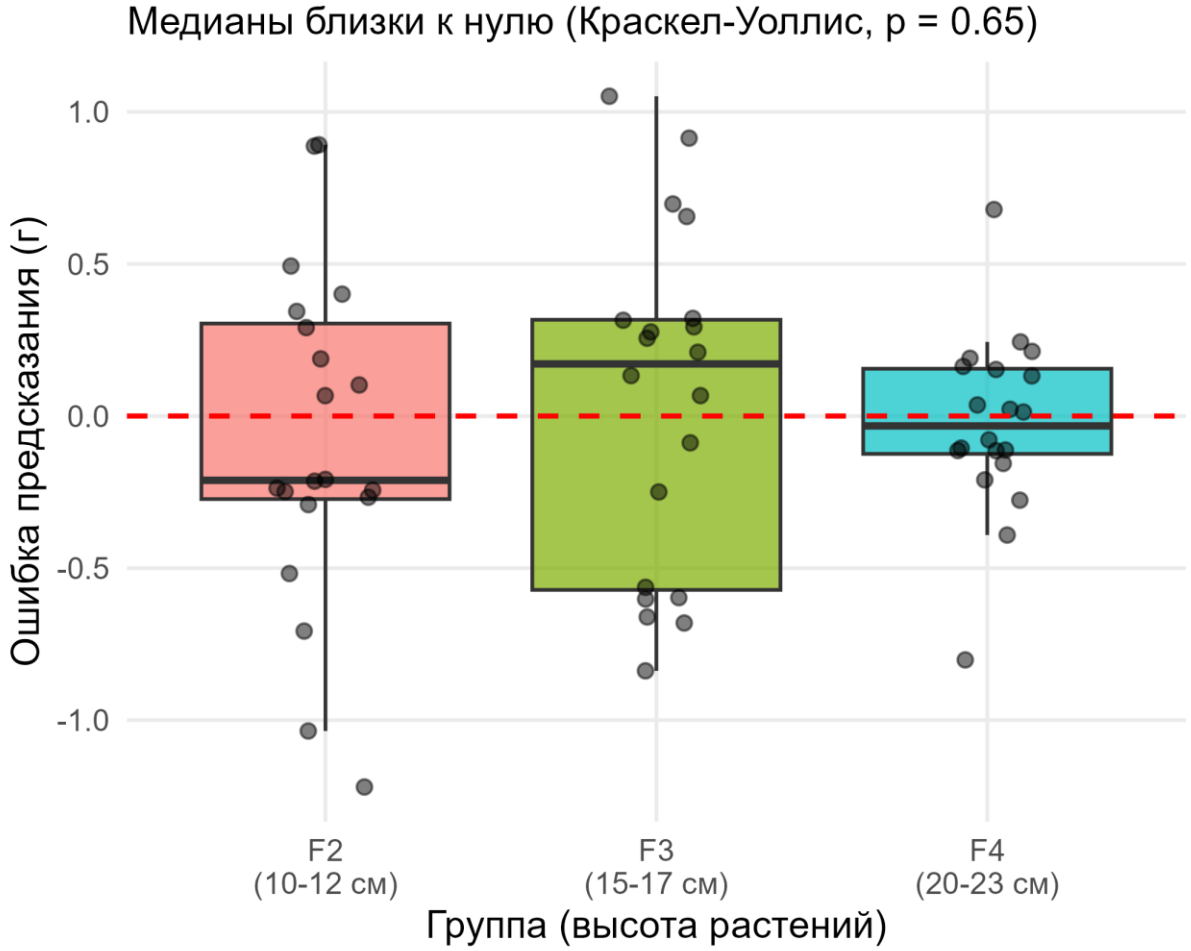


При наличии в обучающей выборке образцов с каждого типа подстилающей поверхности единая модель способна работать для обоих фонов

РЕЗУЛЬТАТЫ

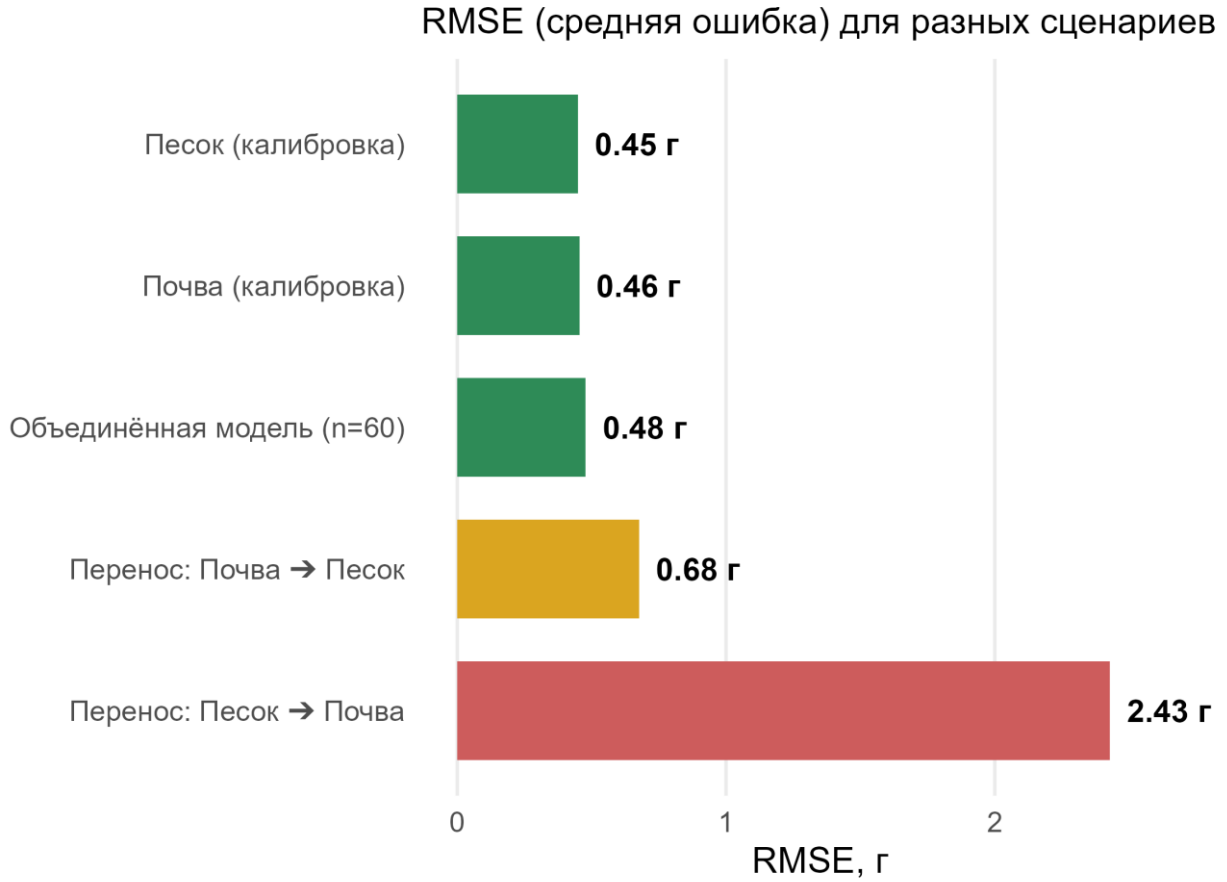
Устойчивость модели и влияние фона

Остатки модели по высоте растений



Модель устойчива к разнице по высоте растений в рамках одной вегетационной фазы (разница не значима).

Асимметрия переноса между фонами



Модель, обученная на почве, сохраняет приемлемую точность на песчаном фоне (RMSE 0.68 г), тогда как обратный перенос на почвенный фон приводит к значительному росту ошибки до 2.43 г.

Для надежной работы на реальных полях необходимо ***учитывать локальные спектральные характеристики почв и проверять устойчивость переноса моделей.***

ВЫВОДЫ

- Метод VIS-NIR позволяет надежно оценивать массу стерни: объединённая PLSR-модель показала высокую точность (R^2 = 0.85; RMSE = 0.48 г).
- Модель устойчива к варьированию высоты растений в пределах одной фазы развития (кущение): отсутствие систематического смещения остатков подтверждает возможность объединённой калибровки без разделения по группам высот.
- Тип подстилающей поверхности влияет на перенос модели асимметрично: необходимо учитывать локальные спектральные характеристики почв и проверять устойчивость калибровочных моделей. При наличии образцов с обоих фонов единая модель работает надёжно.
- Дальнейшие шаги: добавление данных по содержанию углерода (C%) и валидация калибровочных моделей в полевых условиях.

*Лабораторный эксперимент с контрастными фонами позволил изолировать влияние вариабельности массы стерни и фона. Для перехода к спутниковым данным необходима полевая валидация на реальных почвах с учетом атмосферных искажений и смешанного характера пикселей.