

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное бюджетное государственное учреждение высшего образования
МЕЛИТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (ФГБОУ ВО «МелГУ»)

Агротехнологический факультет

**Интегральная модель мониторинга
водного статуса насаждений черешни
на основе корреляции скорости ксилемного потока
и климатических параметров
по данным ДЗЗ**

Работа выполнена при поддержке гранта «Разработка алгоритмов для средств автоматизации систем полива плодовых косточковых культур по физиологическим параметрам деревьев (FRRS-2023-0001)».

Докладчик: Караев А.И.

Актуальность и цель исследования

- Проблема: Возрастающий дефицит водных ресурсов в условиях изменения климата.
- Цель: Разработка интегральной модели мониторинга водного статуса деревьев черешни на основе установления количественных связей между спутниковыми климатическими и почвенными параметрами платформы «Vega-Science» и индексом скорости ксилемного потока (XSF_{Index}).
- Задачи:
 - Апробация измерительного комплекса XSF_{Index} .
 - Анализ влияния климатических и почвенных факторов на водный статус деревьев
 - Построение и верификация регрессионной модели

Материалы и методы

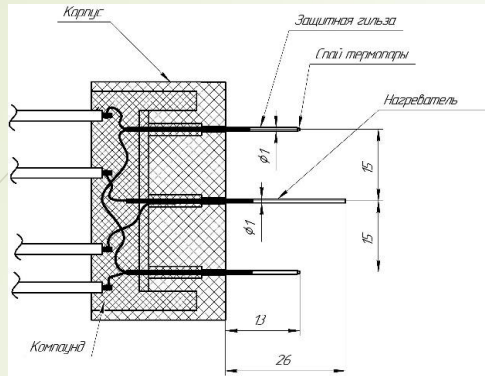
- ▶ **Объект:** 8-летние деревья черешни (*Prunus avium*) сорта «Крупноплодная», ФГБОУ ВО «МелГУ»
- ▶ **Период:** июль-август 2025 года (35 дней , с 209 по 243 день). Критическая фаза органогенеза – вызревание побегов и формирование генеративных почек, определяющая успешную перезимовку и начало следующей вегетации.



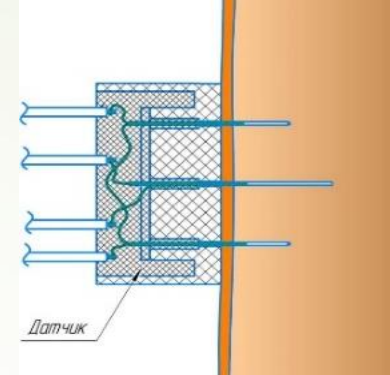
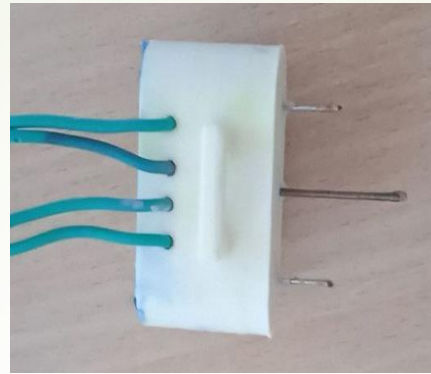
- ▶ **Измерительный комплекс:**
 - ▶ Датчики скорости ксилемного потока (3 реплики: D-1, D-2, D-3); Регистрирующий прибор РОМ-1.
 - ▶ Спутниковые данные (Платформа «Вега-Science»): Температура воздуха, нисходящая коротковолновая радиация, влажность, осадки, влажность и температура почвы.

Методика измерений

Экспериментальные образцы датчика и регистратора (МелГУ)



Датчик ксилемного потока



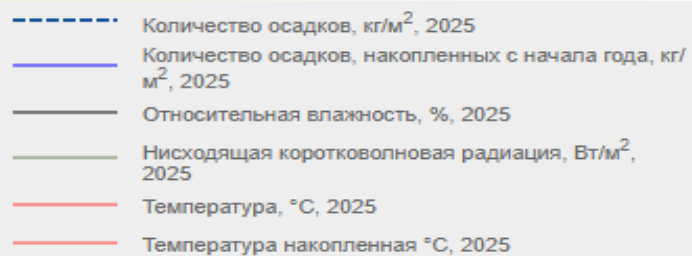
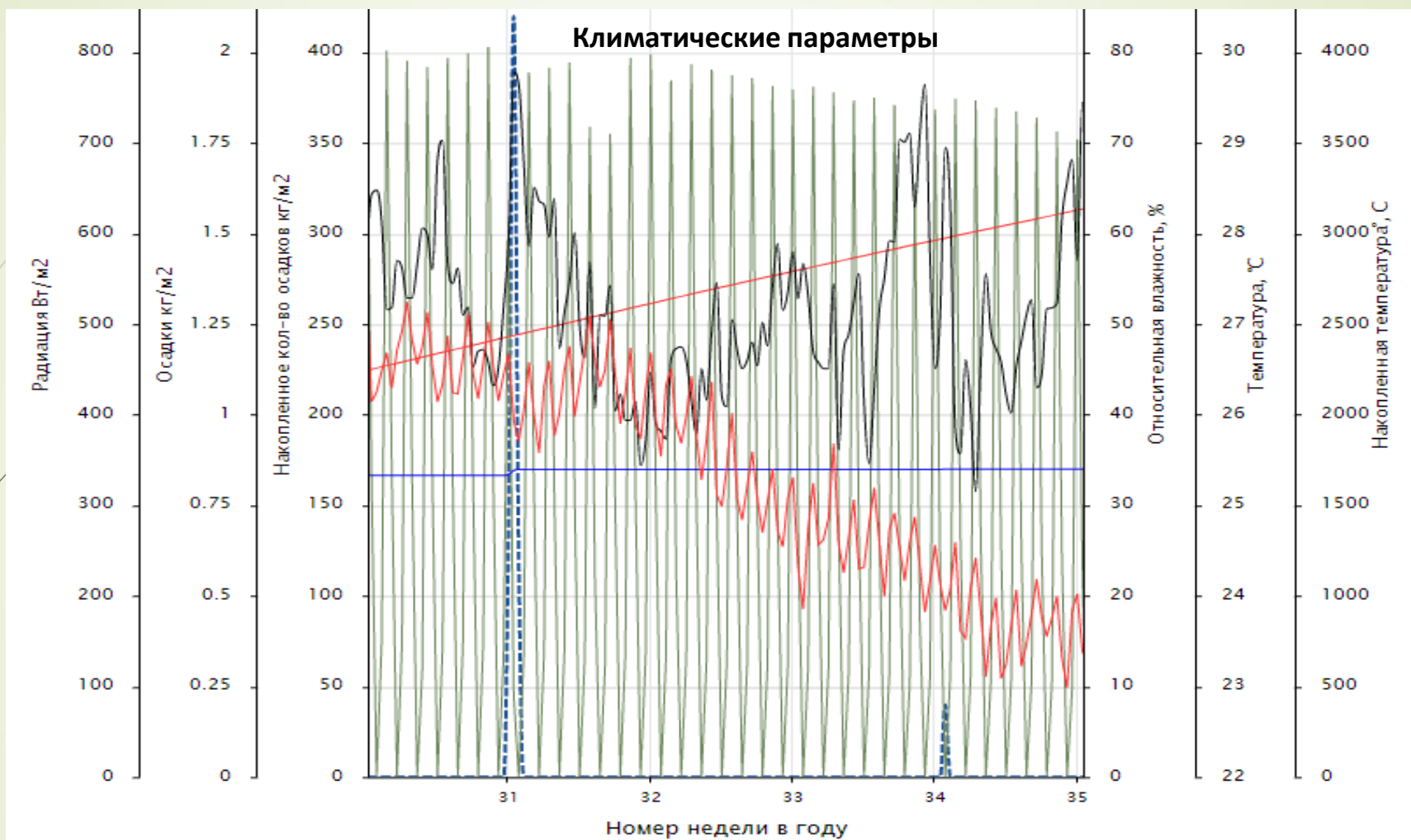
Расположение нагревателя и термопар датчика в ксилеме штамба дерева



Регистрирующий прибор РОМ-1

- Принцип работы: Термометрический (метод теплового импульса).
- Алгоритм:
 1. Нагреватель датчика создает локальный тепловой импульс в ксилеме.
 2. Термопары регистрируют градиент температуры с интервалом 150 с.
 3. Данные (термо-ЭДС) преобразуются прибором РОМ-1 в безразмерный индекс XSF_{Index} , характеризующий динамику скорости ксилемного потока.
- Ключевые особенности: Высокая временная разрешающая способность; чувствительность к изменениям водного статуса.

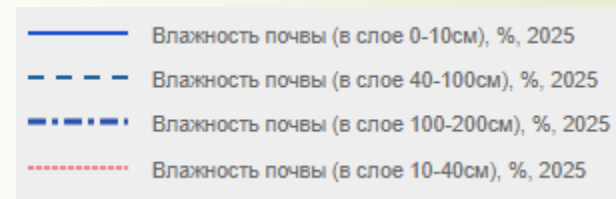
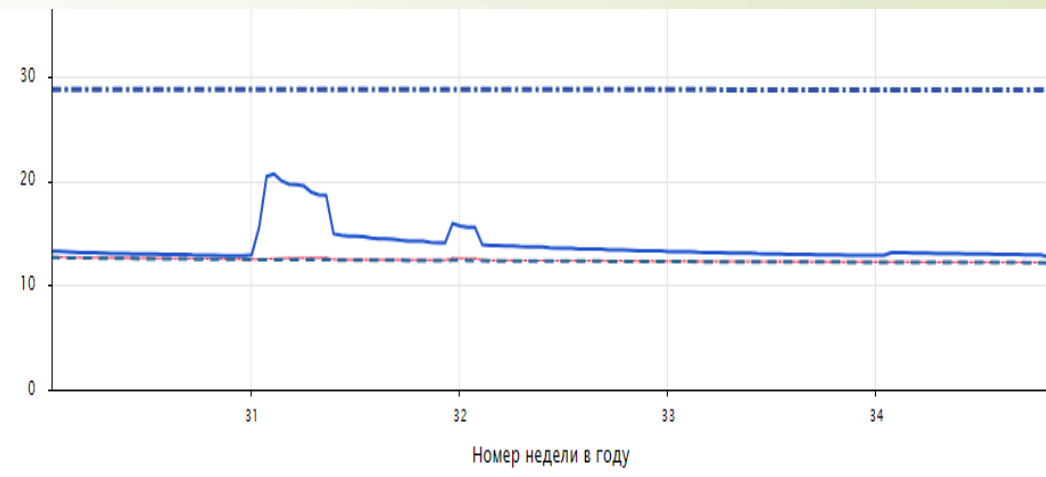
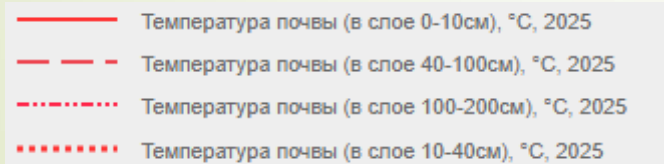
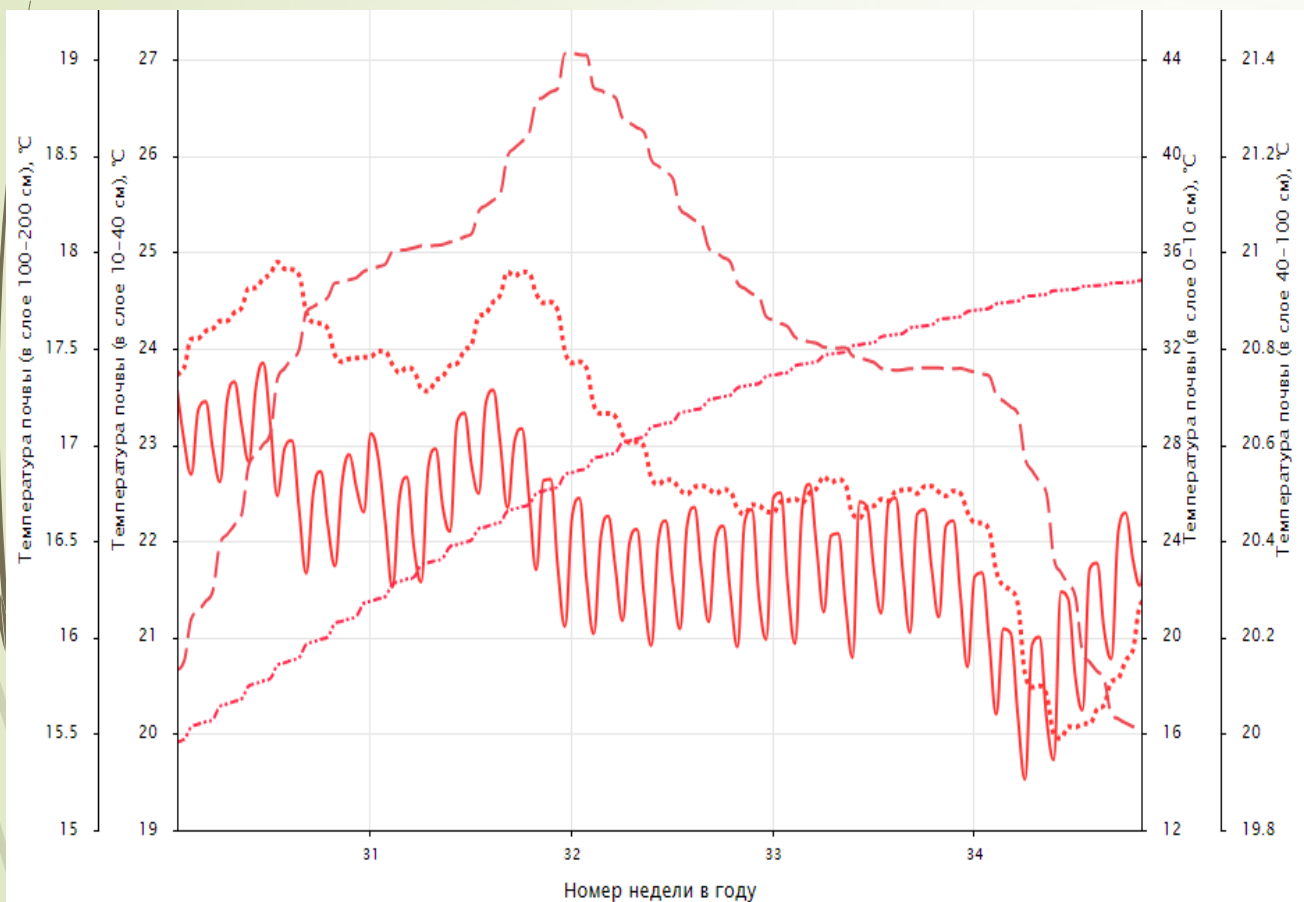
Климатические условия периода с 28.07.2025–31.08.2025 (данные Вега-Science)



- Средняя температура: 25.4°C (верхняя граница оптимума)
- Дефицит осадков: 0.03 кг/м² в среднем
- Высокая радиация: до 806 Вт/м²

Почвенные условия периода с 28.07.2025–31.08.2025 (данные Вега-Science)

Динамика температуры и влажности почвы



- **Динамичность верхнего горизонта (0-10 см)**
- **Стабильность глубоких слоев**
- **Дефицит доступной влаги**

Регрессионная модель мониторинга

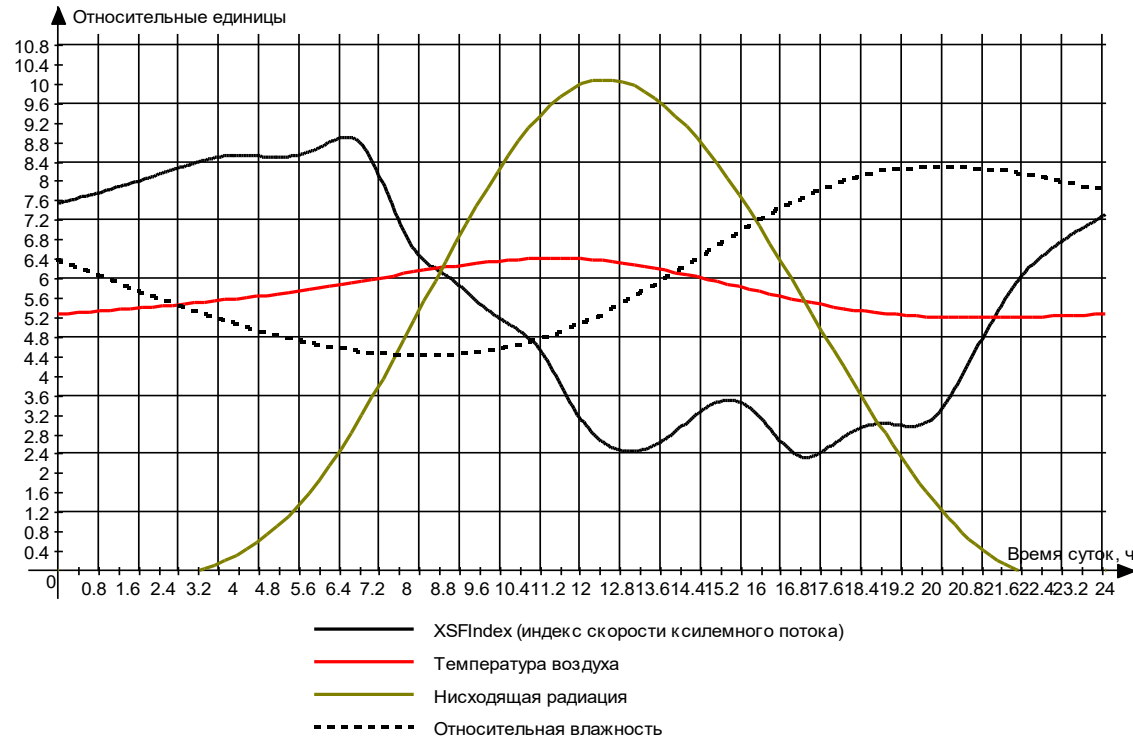
Уравнение модели:

$$XSF_{Index} = 4.512 - 0.371 \times T - 0.298 \times SR + 0.265 \times P + 0.198 \times SWC_{0-10}$$

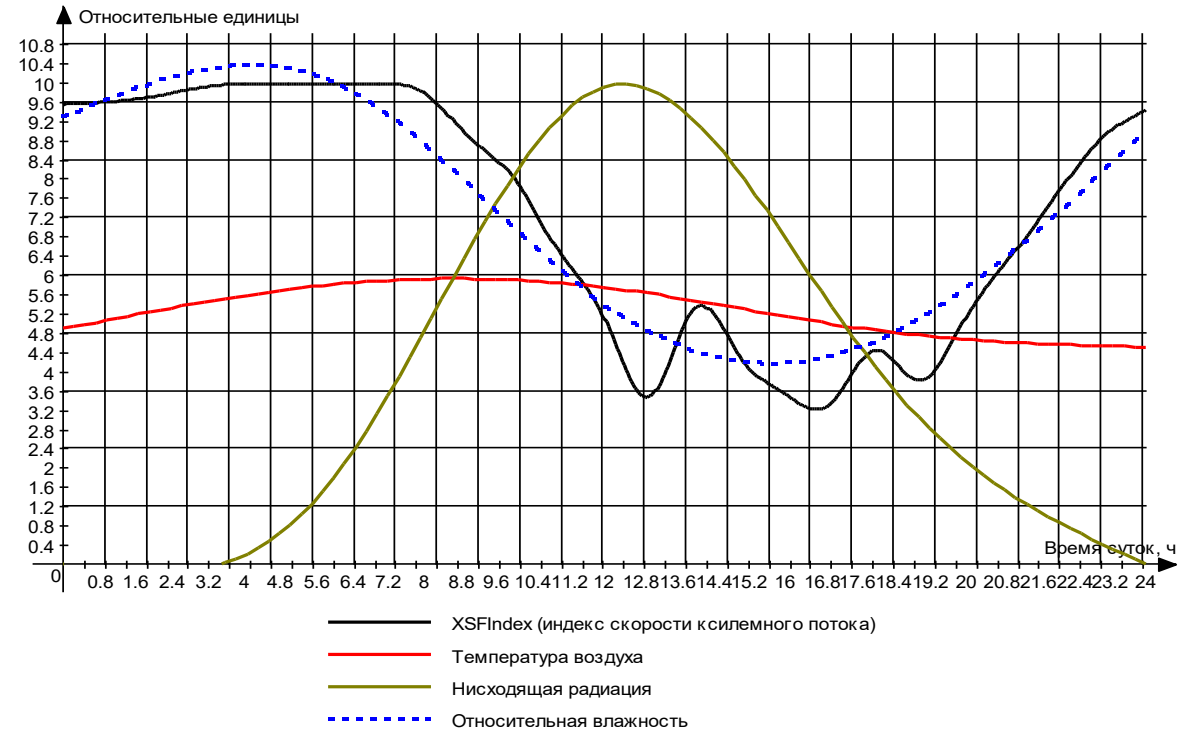
- **Статистическая значимость и вклад факторов:**
 - Температура (T): $\beta = -0.371$; $p = 0.003$ (отрицательное, сильное влияние)
 - Солнечная радиация (SR): $\beta = -0.298$; $p = 0.006$ (отрицательное влияние)
 - Осадки (P): $\beta = +0.265$; $p = 0.036$ (положительное влияние)
 - Влажность почвы 0-10 см (SWC0-10): $\beta = +0.198$; $p = 0.037$ (положительное влияние)
- **Качество модели:**
 - $R^2 = 0.691$; Скорректированный $R^2 = 0.648$
 - F-статистика = 16.115 ($p < 0.0001$)
 - Модель объясняет 69.1% дисперсии XSFIndex.

Анализ суточной динамики (типичные дни)

Эталонные дни (28.07, 10.08)



Суточный ритм XSF_{Index} и температуры 28.07. 2025г.



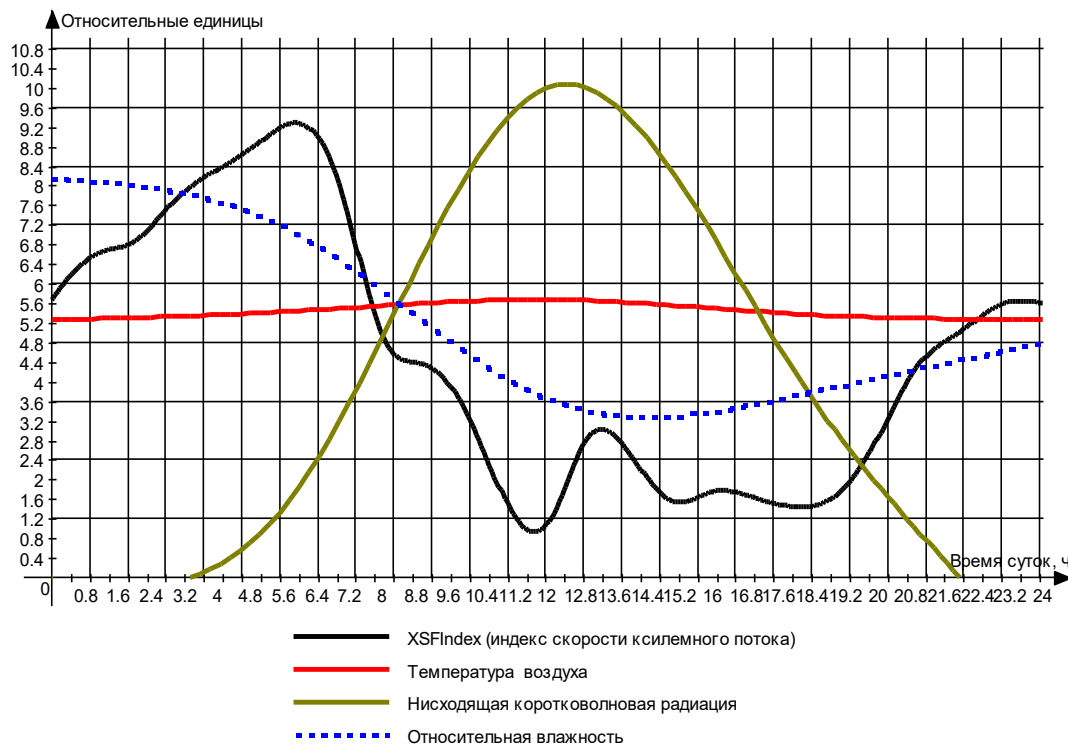
Суточный ритм XSF_{Index} и температуры 10.08. 2025г.

- Наблюдается четкий циркадный ритм ксилемного потока.
- Пик активности днем, снижение ночью.
- Согласованность с ходом температуры и радиации.

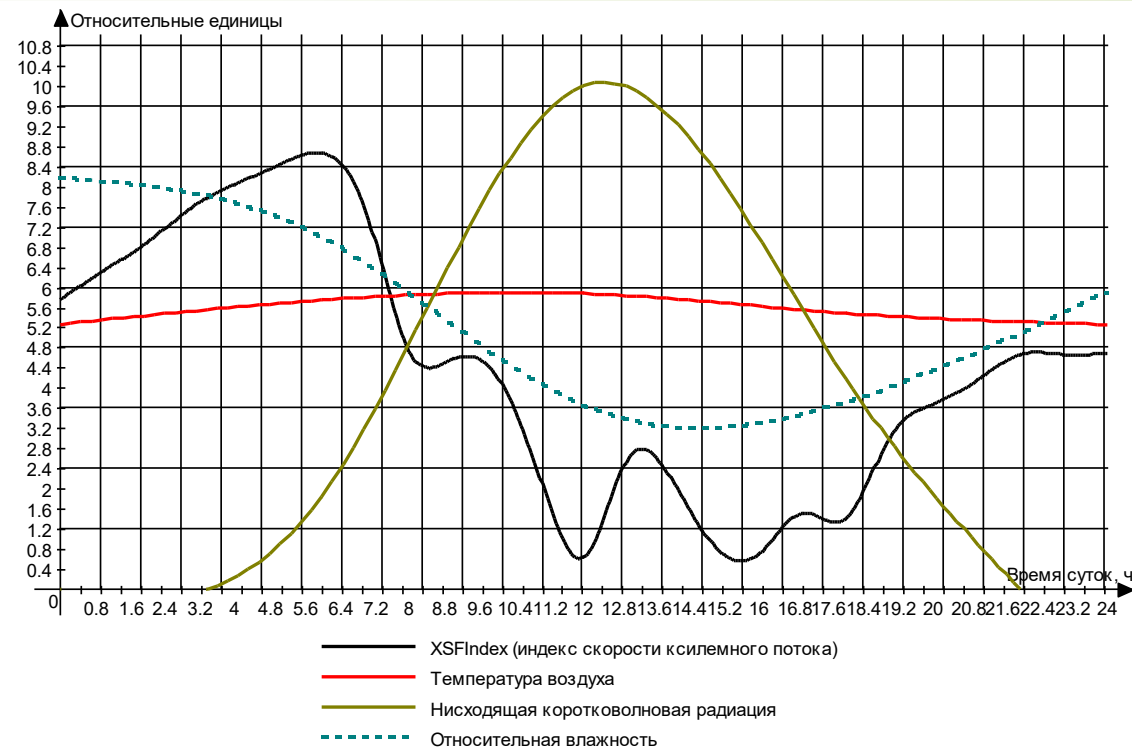
Вывод: В условиях, близких к оптимуму, система транспирации работает стабильно и предсказуемо.

Анализ суточной динамики (стрессовые воздействия)

Дни с водным/тепловым стрессом (01.08, 02.08):



Суточный ритм XSF_{Index} влажности и радиации 1.08. 2025г.

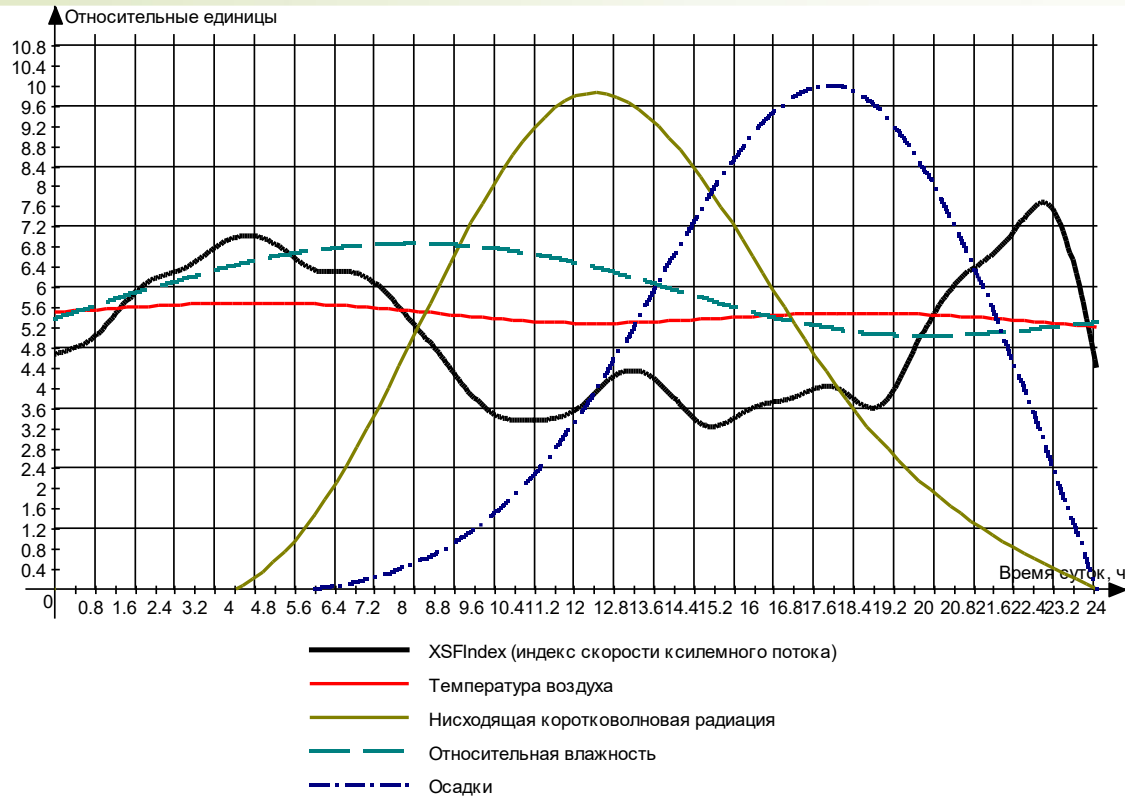


Суточный ритм XSF_{Index}' влажности и радиации 2.08. 2025г.

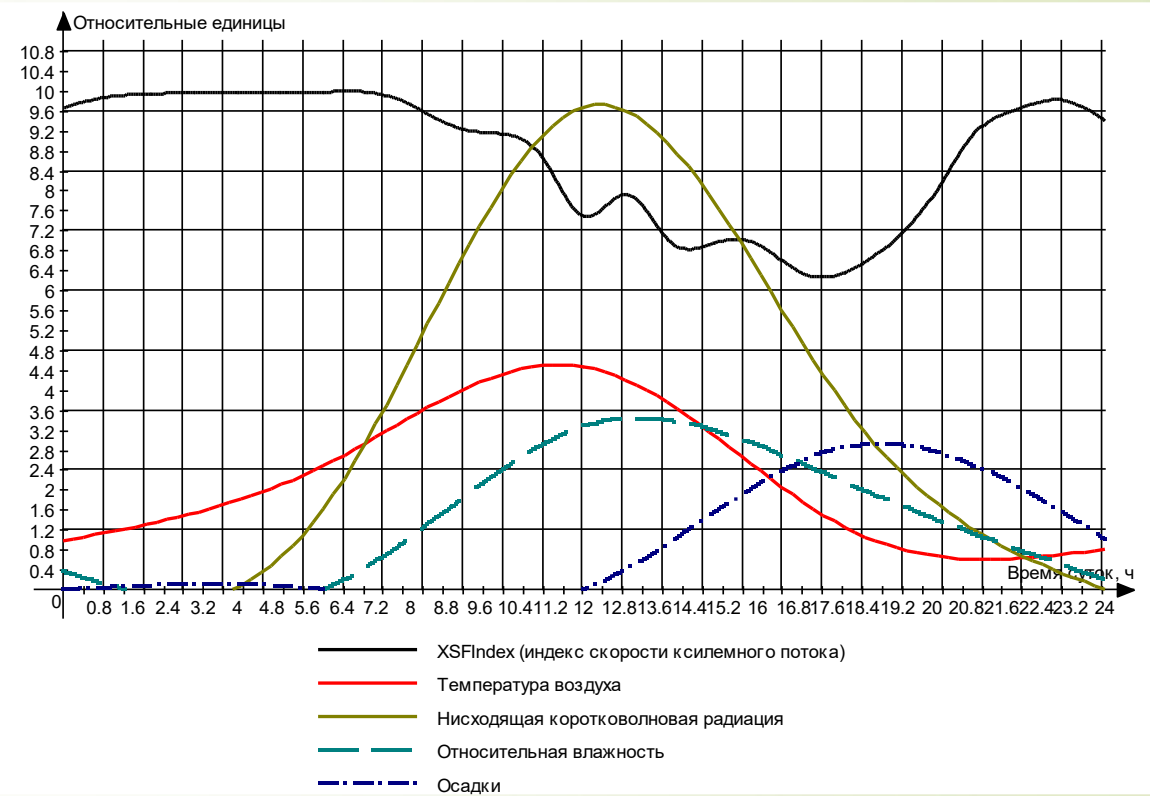
- Подавление амплитуды ксилемного потока.
- Максимальная вариабельность между датчиками (CV=25.6% 02.08) – реакция на стресс

Анализ суточной динамики (осадки)

Дни с осадками (03.08, 25.08)



Суточный ритм XSF_{Index} под влиянием осадков 3.08. 2025г.

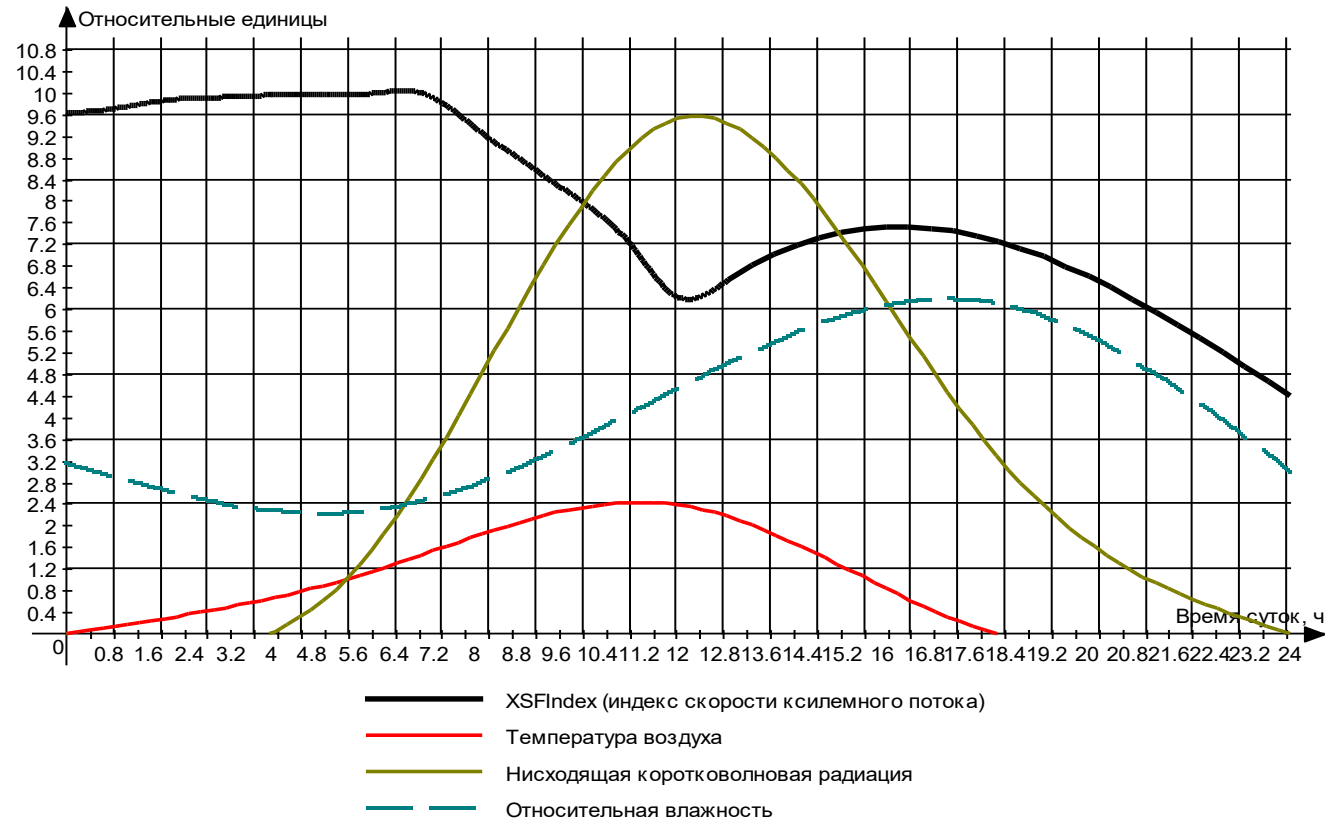


Суточный ритм XSF_{Index} под влиянием осадков 25.08. 2025г.

- Сглаживание ритма ксилемного потока
- Компенсация дефицита влаги, увеличение ночных значений потока.

Анализ суточной динамики (прохлада)

Прохладный день (27.08.2025)



Суточный ритм XSF_{Index} под влиянием низкой температуры

- Снижение пиковой активности потока из-за низкой температуры

Выводы

1. Разработана и верифицирована статистически значимая интегральная модель, объясняющая 69.1% дисперсии скорости ксилемного потока черешни (XSF_{Index}) на основе данных ДЗЗ. Модель адекватна (нормальность остатков, гомоскедастичность, отсутствие автокорреляции) и пригодна для практического применения.
2. Установлены количественные связи: температура и радиация оказывают достоверное отрицательное влияние на ксилемный поток, а осадки и влажность почвы – положительное. Влажность поверхностного горизонта почвы (0-10 см) является значимым прогностическим параметром.
3. Подтверждена высокая чувствительность методики к изменениям водного статуса, что проявляется в повышенной вариабельности показаний датчиков (CV до 25.6%) в условиях стресса.
4. Регистрируемые изменения суточной динамики XSF_{Index} (подавление, сглаживание) служат индикатором реакции растения на стрессовые факторы и могут быть использованы для диагностики.

Перспективы и рекомендации

- **Научные перспективы:**
 - Установление связей между прямым биометрическим параметром XSF_{Index} и вегетационными индексами (NDVI, WVCi) для непрямой оценки водного статуса на основе спутниковых данных.
- **Практические рекомендации для системы прецизионного садоводства:**
 - Контроль теплового стресса - при температуре выше 26°C необходим мониторинг и, возможно, активное охлаждение.
 - Оптимизация орошения - в периоды высокой солнечной радиации необходим акцент на поддержание влажности в корнеобитаемом слое 0–40 см.
 - Дифференцированное управление - учет пространственной неоднородности почвенных и растительных условий на участке.



Спасибо за внимание