



## Параметризация модели WOFOST на больших территориях с помощью адаптированный карты почв РСФСР В.М. Фридланда

Д.Е. Плотников, Е.Н. Подгорнова, Ю.Л. Мешалкина  
ИКИ РАН  
Почвенный факультет МГУ

# Проект DWATCH

---

- ▶ Название: Использование данных спутникового мониторинга для укрепления продовольственной безопасности и повышения устойчивости сельскохозяйственного сектора в условиях изменения климата;
- ▶ Цель: разработка новых методов прогнозирования и оценки состояния сельскохозяйственных культур в условиях изменения климата

Базовые сценарии изменения климата IPCC к 2100 году: *RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5*: необходимо обеспечить возможность климат-ориентированного имитационного моделирования развития ключевых с\х культур



# Климатические данные FLDAS

## 3.2.3 FLDAS Central Asia Model Data: Daily

The FLDAS daily data from the Noah LSM (FLDAS\_NOAH001\_G\_CA\_D) contain 23 fields as listed in Table 5c.

Table 5c. Parameters from FLDAS Noah model data for the monthly dataset.

Short Name	Description	Unit
Evap_tavg	Evapotranspiration	kg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>
Psurf_f_tavg	Surface pressure	Pa
Qair_f_tavg	Specific humidity	kg kg <sup>-1</sup>
Qs_tavg	Storm surface runoff	W m <sup>-2</sup>
Qsb_tavg	Baseflow-groundwater runoff	kg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>
Qsm_tavg	Snowmelt	kg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>
RadT_tavg	Surface radiative temperature	K
Rainf_f_tavg	Rainfall flux	kg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>
Rainf_tavg	Total precipitation rate	kg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>
SnowDepth_inst	Snow depth	m
Snowf_tavg	Snowfall rate	kg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>
SoilMoi00_10cm_tavg	Soil moisture (0 - 10 cm underground)	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>
SoilMoi10_40cm_tavg	Soil moisture (10 - 40 cm underground)	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>
SoilMoi100_200cm_tavg	Soil moisture (100 - 200 cm underground)	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>
SoilMoi40_100cm_tavg	Soil moisture (40 - 100 cm underground)	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>
SoilTemp00_10cm_tavg	Soil temperature (0 - 10 cm underground)	K
SoilTemp10_40cm_tavg	Soil temperature (10 - 40 cm underground)	K
SoilTemp100_200cm_tavg	Soil temperature (100 - 200 cm underground)	K
SoilTemp40_100cm_tavg	Soil temperature (40 - 100 cm underground)	K
SWdown_f_tavg	Surface downward shortwave radiation	W m <sup>-2</sup>
SWE_inst	Snow water equivalent	kg m <sup>-2</sup>
Swnet_tavg	Net shortwave radiation flux	W m <sup>-2</sup>
Tair_f_tavg	Near surface air temperature	K

The short names with “ f” are forcing variables.

- ▶ Famine Early Warning Systems Network (FEWS NET) Land Data Assimilation System (FLDAS): [https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/FLDAS\\_NOAH001\\_G\\_CA\\_D\\_01/summary?keywords=FLDAS](https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/FLDAS_NOAH001_G_CA_D_01/summary?keywords=FLDAS)
- ▶ Format: netCDF
- ▶ Spatial Coverage: 30.0,21.0, 100.0,56.0
- ▶ Temporal Coverage: 2000-10-01 to 2023-10-01
- ▶ File Size: 1.2 GB per file
- ▶ Data Resolution
- ▶ Spatial: 0.01 ° x 0.01 °
- ▶ Temporal: 1 day

# Климатические данные NCEP

**Источник:** National Centers for Environmental Prediction (NCEP), подразделение NOAA (США)

**Покрытие:** глобальное, на регулярной широтно-долготной сетке

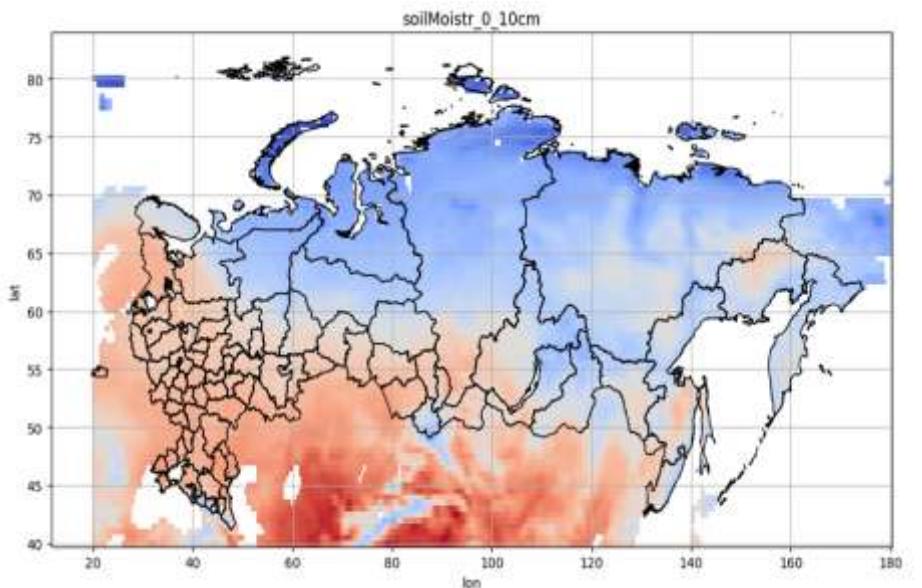
**Пространственное разрешение:** шаг  $0.5^\circ$  ( $\approx 55 \times 30$  км в средних широтах) или  $0.25^\circ$

**Тип данных:** метеорологические данные реанализа и прогноза

**Переменные:** температура, давление, влажность, осадки и многие другие — на нескольких уровнях и на поверхности земли

**Временное разрешение:** каждые 6 часов

**Формат данных:** GRIB или NetCDF (.grib2 / .nc)



Параметр	Описание
2 metre temperature	температура воздуха на уровне 2 метра над землей
Temperature	приземная температура воздуха
Total Precipitation	кол-во осадков (накопленных с начала временного периода, за 6 часов), в миллиметрах.
Precipitation rate	интенсивность осадков, в kg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> (килограмм на кв.метр в секунду)
Volumetric soil moisture content	влажность почвы 0-10 см
Volumetric soil moisture content	влажность почвы 10-40 см
Volumetric soil moisture content	влажность почвы 40-100 см
Temperature	температура почвы 0-10 см
Temperature	температура почвы 10-40 см
Temperature	температура почвы 40-100 см
Downward short-wave radiation flux	нисходящая коротковолновая радиация
Relative humidity	относительная влажность воздуха 2 метра над землей
Snow depth	толщина снежного покрова

# Экспертная ассоциация карты почв Фридланда

Ec1 – coarse

Ec2 – medium

Ec3 – medium fine

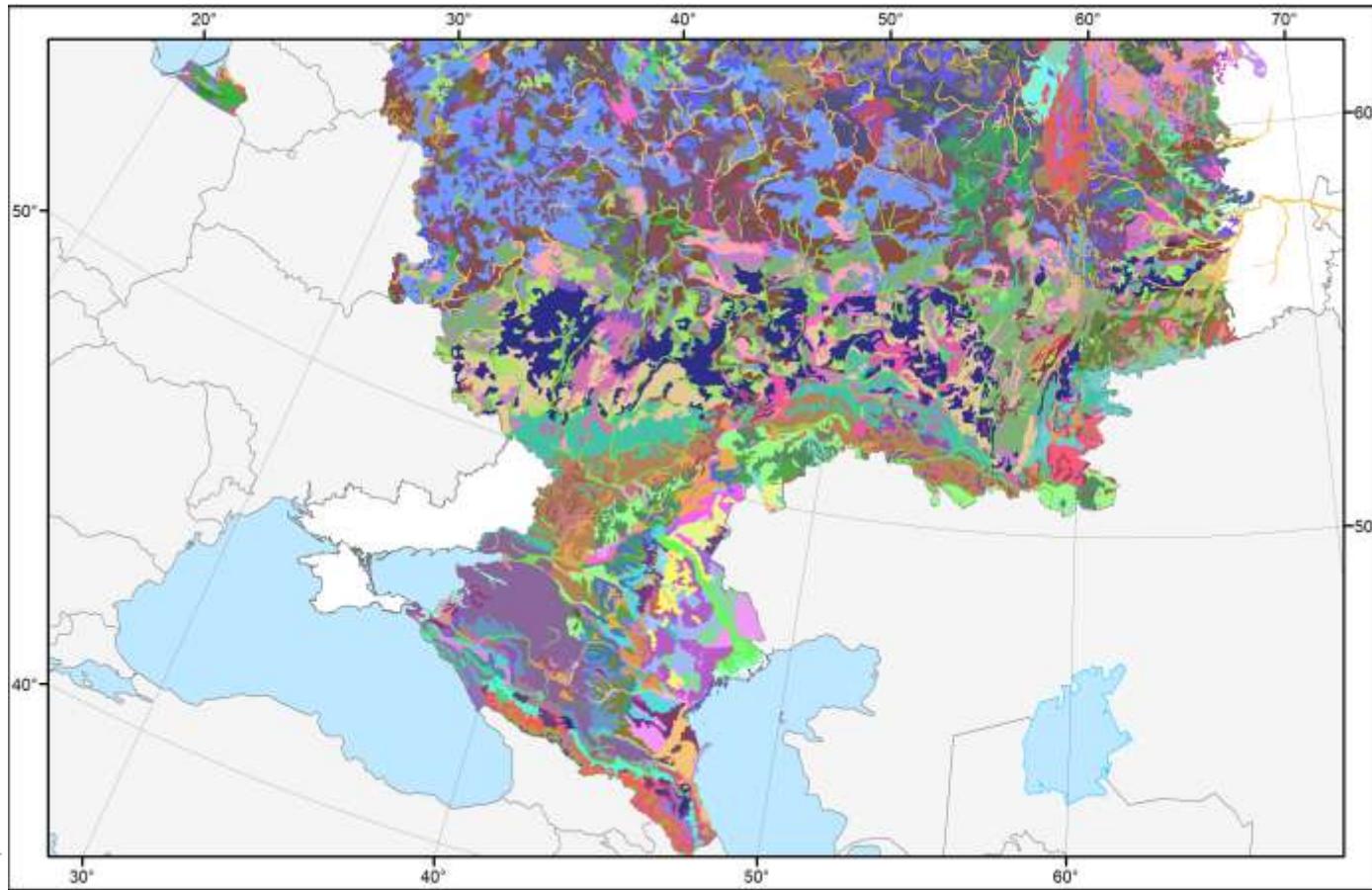
Ec4 – fine

## **Ec5** – very fine

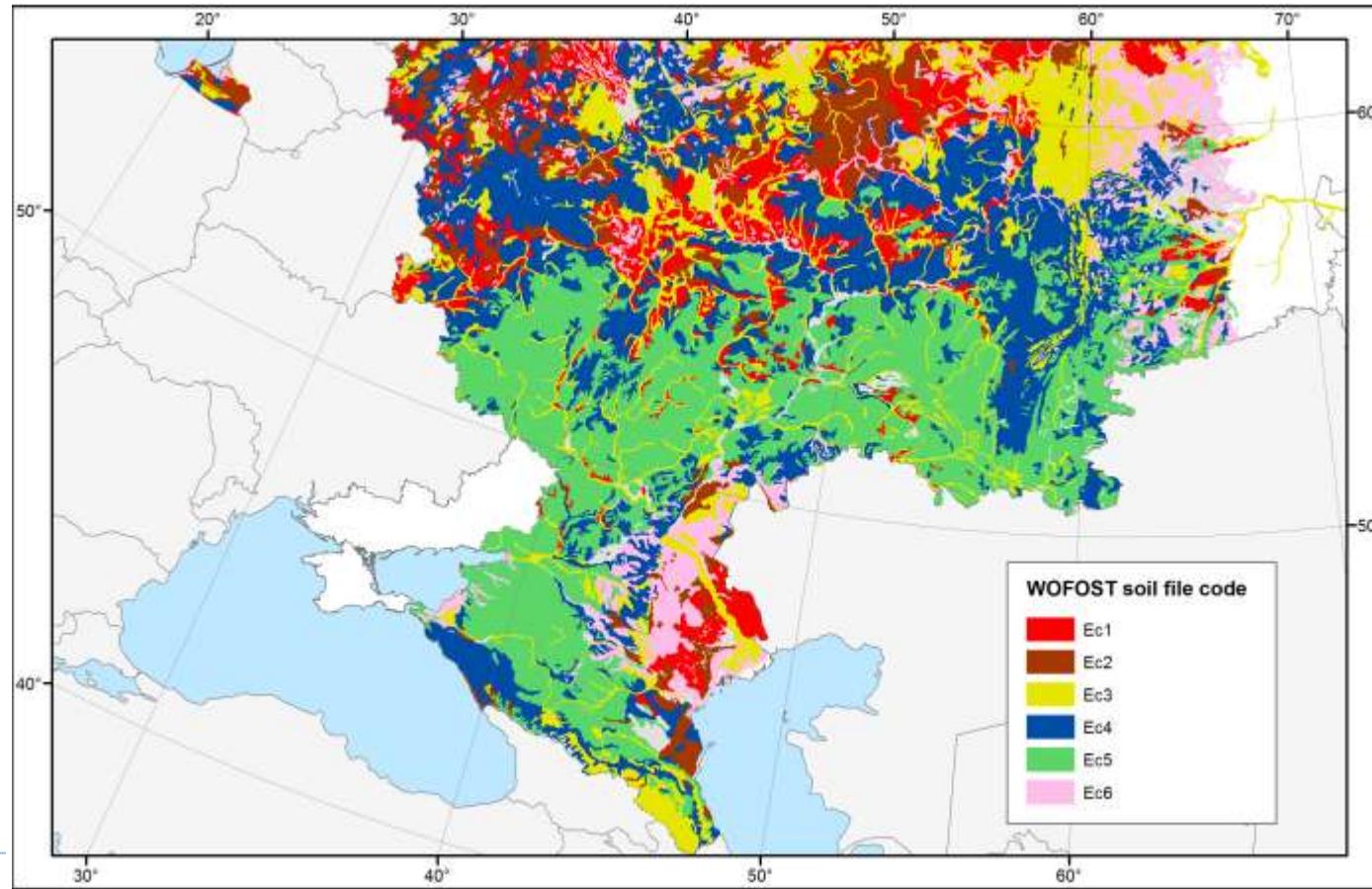
**Ec6** – peat (fine and  
permeable)

## Фрагмент таблицы соотнесения выделов карты Фридланда с использованием грансостава в терминах модели WOFOST

# Карта почв Фридланда, псевдоцвета для выделов



# Адаптированная карта почв в терминах модели WOFOST



# Агроклиматическая стратификация ЕТР

---

- ▶ **ГТК = ( $\Sigma$ Осадков /  $\Sigma T > 10^\circ C$ ) \* 10**
- ▶ Кластеры:
  - ▶ 1. Северный влажный:  $\Sigma T > 5^\circ C < 1800^\circ C$ , ГТК > 1.6
  - ▶ 2. Северо-западный:  $\Sigma T > 5^\circ C 1800-2200^\circ C$ , ГТК 1.3-1.6
  - ▶ 3. Центральный:  $\Sigma T > 5^\circ C 2200-2600^\circ C$ , ГТК 1.0-1.3
  - ▶ 4. Центрально-чернозёмный:  $\Sigma T > 5^\circ C 2600-3000^\circ C$ , ГТК 0.7-1.0
  - ▶ 5. Южный засушливый:  $\Sigma T > 5^\circ C > 3000^\circ C$ , ГТК < 0.7



# Ключевые культуры России

---

- ▶ Горох
- ▶ Картофель
- ▶ Кукуруза на зерно
- ▶ Овёс
- ▶ Подсолнечник
- ▶ Просо
- ▶ Пшеница озимая
- ▶ Пшеница яровая
- ▶ Рапс озимый
- ▶ Рапс яровой
- ▶ Рис
- ▶ Рожь озимая
- ▶ Сахарная свёкла
- ▶ Соя
- ▶ Ячмень озимый
- ▶ Ячмень яровой

Культура считается ключевой, если она входит в группу 80% наиболее распространённых по площади сева культур в любом субъекте федерации за последние 5 лет

---



# Статистические данные

---

- ▶ Собирались данные о площадях и урожайности ключевых культур в интервале ~2005-2020 годы на уровне районов



# Агроклиматические условия сева ключевых культур

Пшеница озимая	Т почвы: 12-17 °C; Вл. почвы: >15% ПВ
Пшеница яровая	Т почвы: >6 °C; Вл. почвы: >10% ПВ
Ячмень яровой	Т почвы: >4 °C; Вл. почвы: >10% ПВ
Ячмень озимый	Т почвы: 12-16 °C; Вл. почвы: >15% ПВ
Овёс	Т почвы: >5 °C; Вл. почвы: >12% ПВ
Рожь озимая	Т почвы: 10-15 °C; Вл. почвы: >15% ПВ
Кукуруза на зерно	Т почвы: >9 °C; Вл. почвы: >15% ПВ
Подсолнечник на зерно	Т почвы: >9 °C; Вл. почвы: >12% ПВ
Соя	Т почвы: >10 °C; Вл. почвы: >15% ПВ
Сахарная свёкла	Т почвы: >6 °C; Вл. почвы: >15% ПВ
Рапс озимый	Т почвы: 12-16 °C; Вл. почвы: >15% ПВ
Рапс яровой	Т почвы: >6 °C; Вл. почвы: >15% ПВ
Горох	Т почвы: >4 °C; Вл. почвы: >12% ПВ
Прясе	Т почвы: >10 °C; Вл. почвы: >12% ПВ
Рис	Т почвы: >13 °C; Вл. почвы: >90% ПВ
Картофель	Т почвы: >7 °C; Вл. почвы: >15% ПВ

Кроме этого, для каждого агроклиматического кластера был установлен типичный (среднемноголетний) интервал дат сева, дат цветения и дат созревания для каждой

▶ ключевой культуры (Агрономия СССР)

# Общая логика порайонной оптимизации

---

- ▶ Фенология: TSUMEM, TSUM1, TSUM2. Алгоритм оптимизации Brent (по 1 параметру), минимизация отклонения от целевого интервала для дат сев-цветение-созревание;
- ▶ Фотосинтез: AMAX, KDIF, EFF, SPAN. Алгоритм оптимизации Differential evolution (4 параметра сразу), минимизация ошибки оценки урожайности;
- ▶ Урожайность: распределение ассимилятов в фазе DVS=0.2 и DVS=1 (7 параметров сразу), минимизация ошибки оценки урожайности



# Модель

---

WOFOST (World Food Studies) — динамическая имитационная модель роста и продуктивности сельскохозяйственных культур. Её основная задача — ежедневный расчет прироста биомассы и развития растения от всходов до созревания, в зависимости от погодных условий, характеристик почвы и параметров самой культуры.

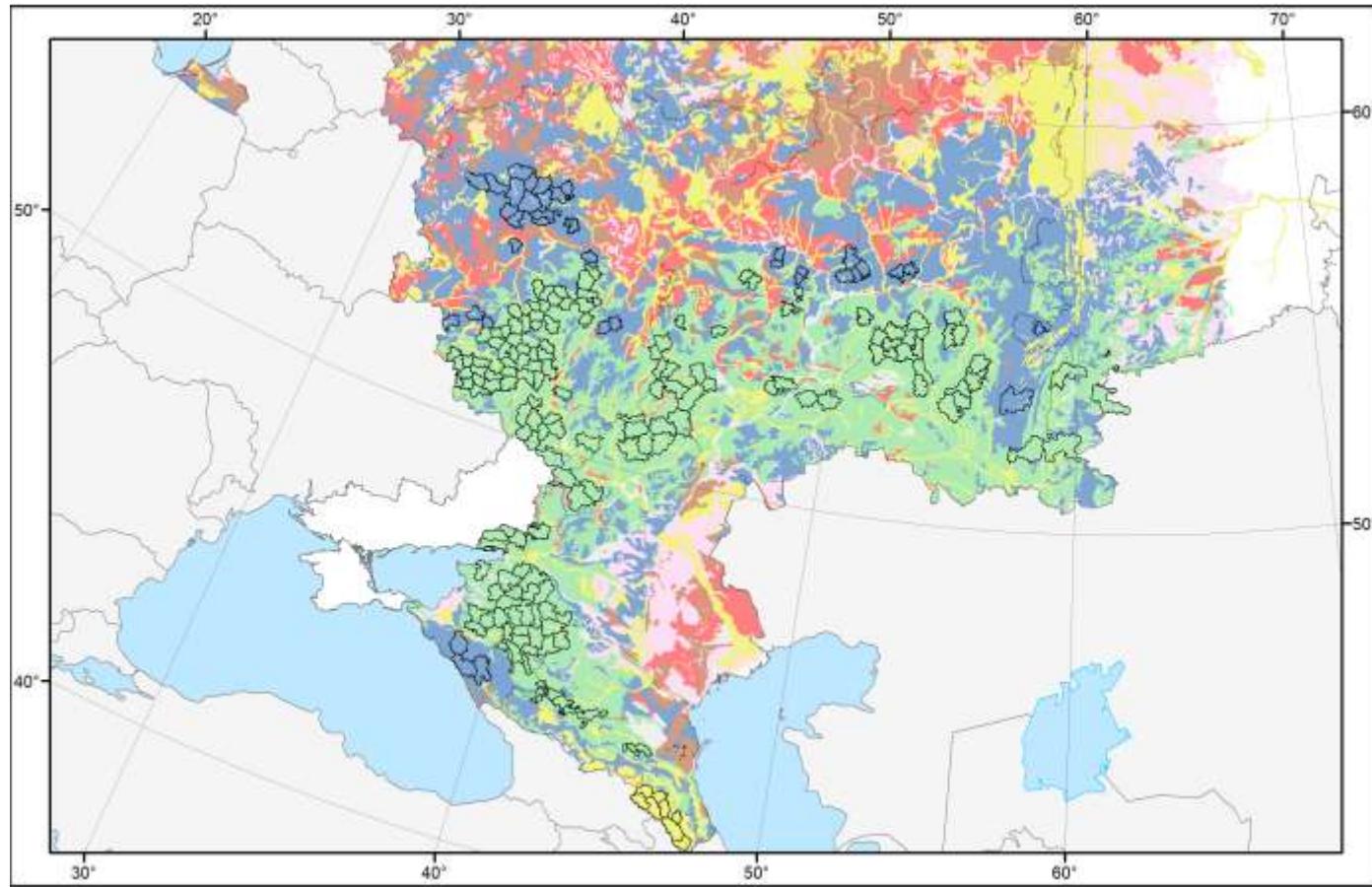


- ▶ Входные данные:
  - ▶ Агроменеджмент;
  - ▶ Дата сева;
  - ▶ Ежедневные агроклиматические характеристики;
  - ▶ Параметры культуры (фенология, фотосинтез, распределение ассимилятов);
  - ▶ Гидрофизические параметры почвы

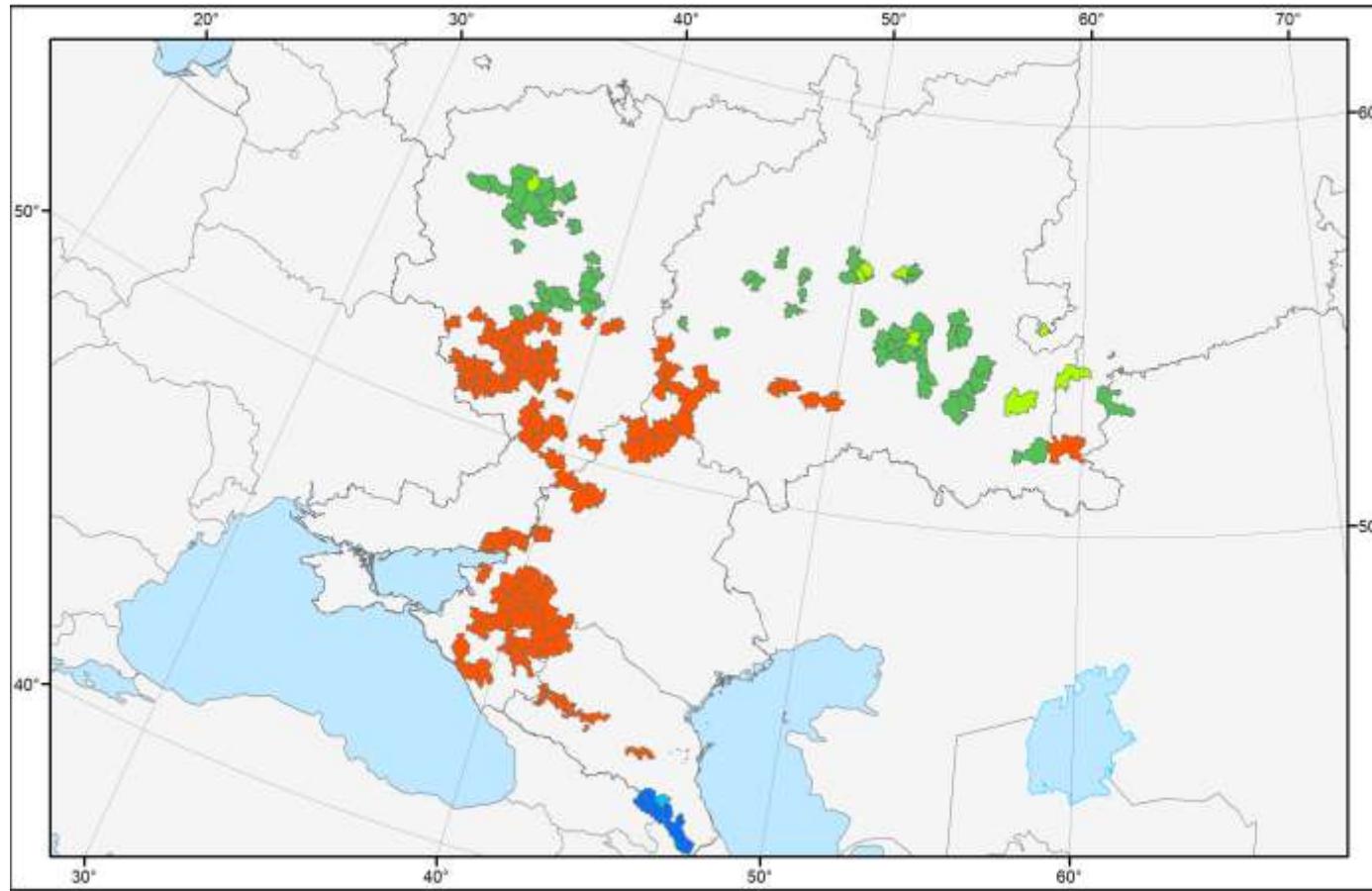
# Входные агроклиматические данные для WOFOST

Параметр	Единицы измерения	Название	Описание
IRRAD	кДж/м <sup>2</sup> /день	Суммарная солнечная радиация	Определяет потенциальный рост за счёт фотосинтеза
TMIN	°C	Минимальная температура воздуха	Влияет на процессы дыхания и связан со стрессом от холода
TMAX	°C	Максимальная температура воздуха	Тепловой стресс. Вместе с TMIN используется для расчета средней температуры.
RAIN	мм	Сумма осадков	Основной источник влаги для почвы в багарных условиях.
WIND	м/с	Скорость ветра на высоте 2 м	Влияет на испаряемость с поверхности почвы и растений.
VAP	кПа	Давление водяного пара	Характеризует влажность воздуха. Используется для расчета дефицита давления пара

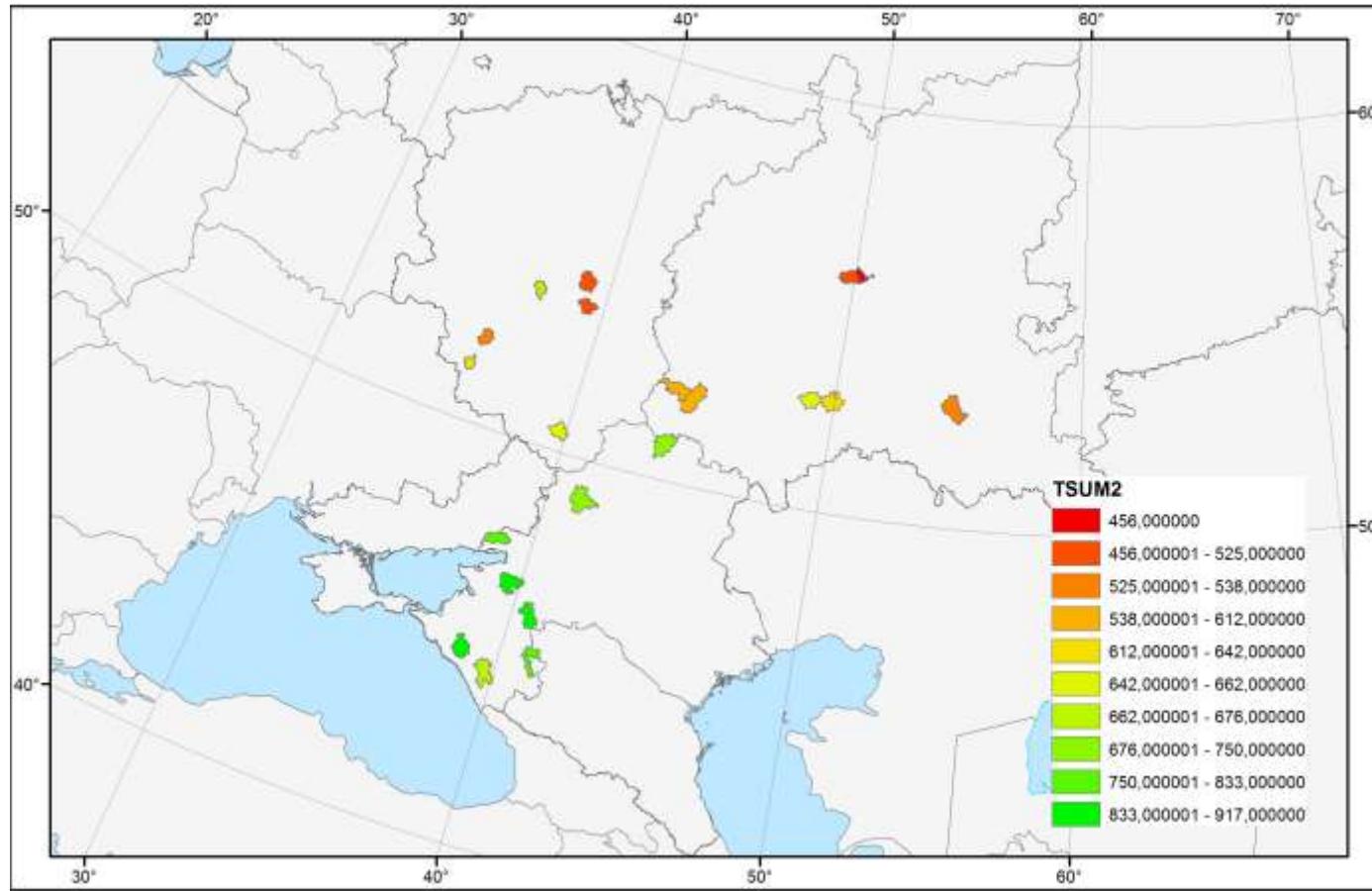
# Однородные районы: один тип почвы



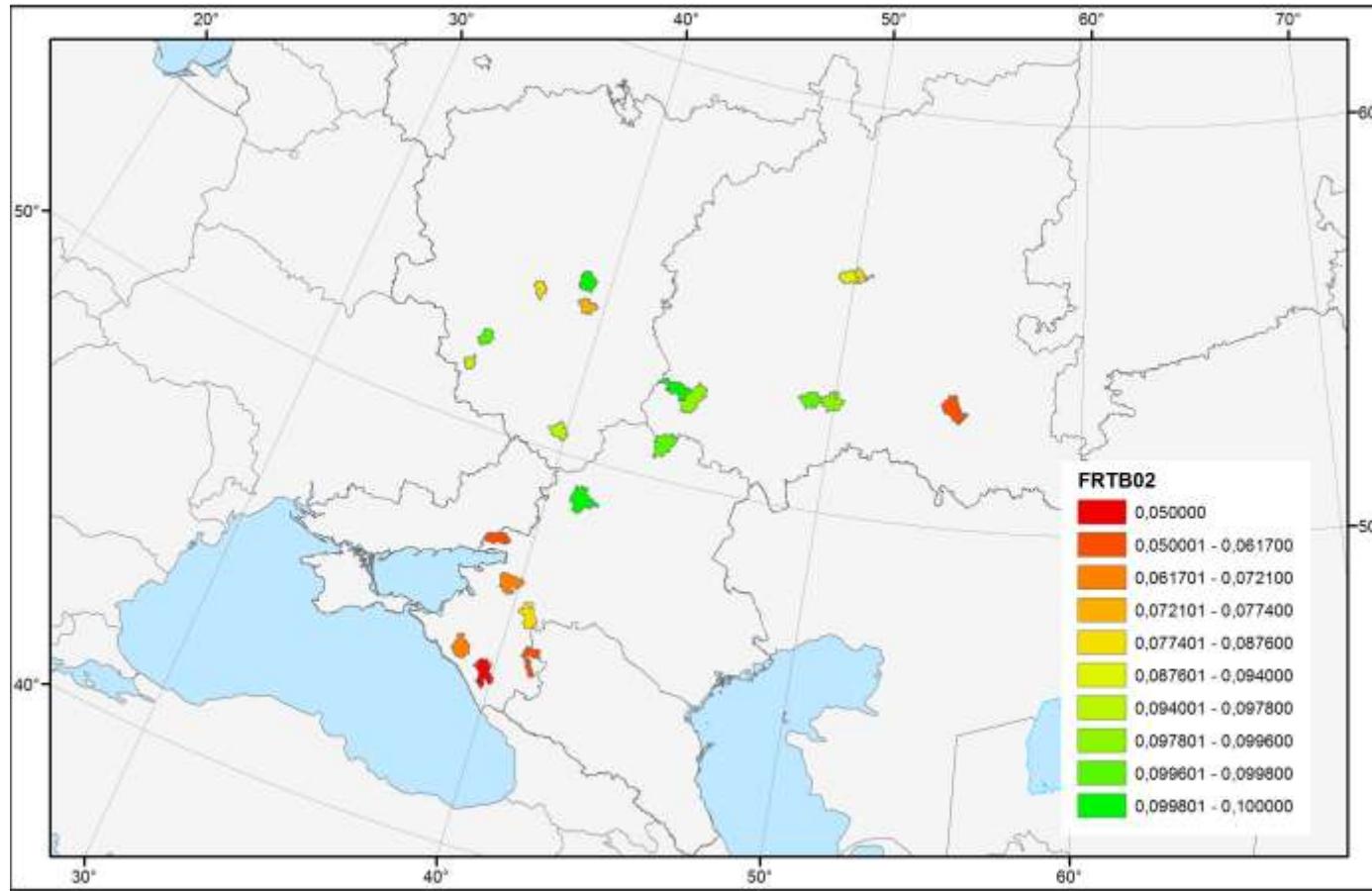
# Климатические кластеры для однородных районов



# Результаты на примере кукурузы на зерно: TSUM2 (дата цветения-дата созревания)



# Результаты на примере кукурузы на зерно: FRTB02 (масса корней на фазе созревания)



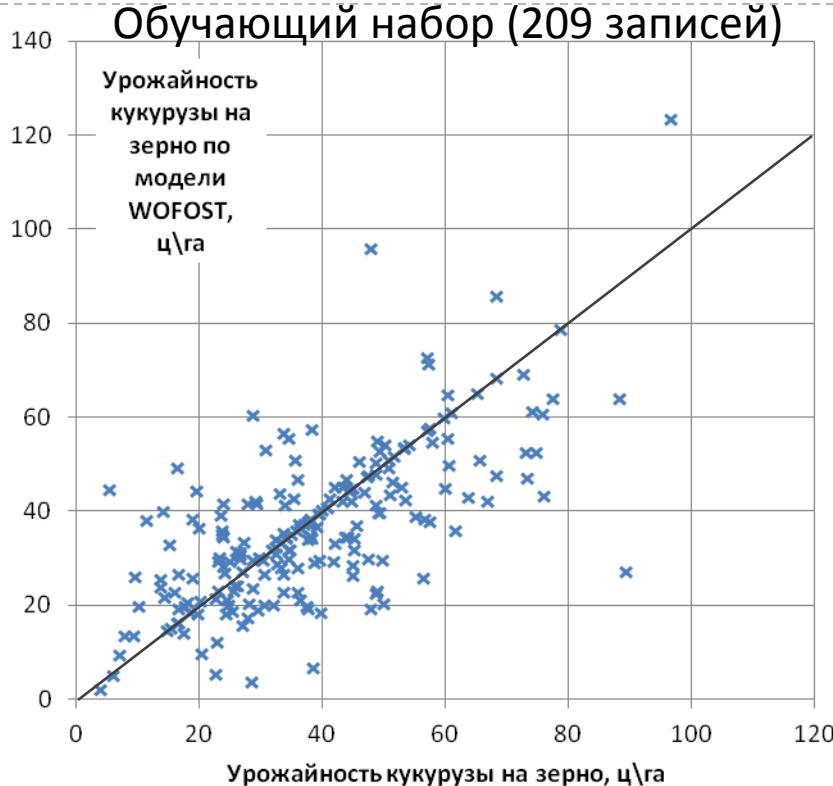
# Оценка точности параметризации

---

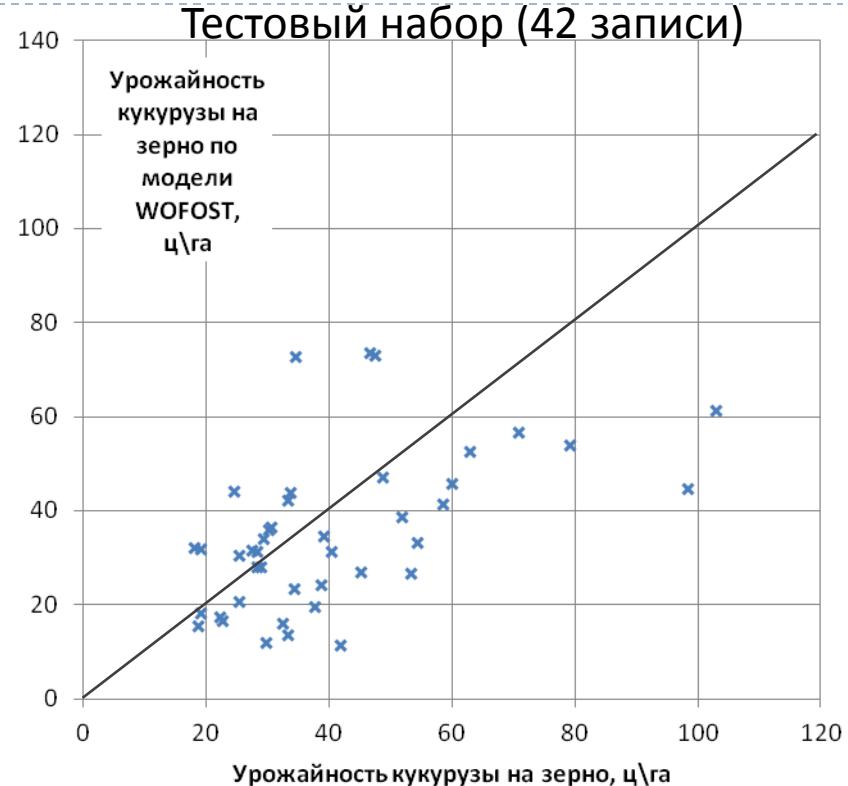
- ▶ Для каждого района из ~15 лет было случайным образом выбрано 2 тестовых года, которые не участвовали в параметризации
- ▶ После окончания порайной параметризации прогнозирование урожайности осуществлялось для каждого года с разделением «обучающих лет» и «тестовых лет»;
- ▶ Считались знаковые ошибки (Mean) и средний модуль ошибки (MAE) отдельно для «обучающих лет» и «тестовых лет»



# Результаты (по 20 районам и ~15 годам)



Mean = 1,8 ц\га, MAE = 9,3 ц\га



Mean = 5,4 ц\га; MAE = 14,3 ц\га



# Выводы

---

- ▶ Разработана технология автоматической параметризации WOFOST на больших территориях, получены файлы культур для каждого района, продолжается параметризация для других районов и культур;
- ▶ Расчётное время работы – несколько дней на одну ключевую культуру для территории ЕТР;
- ▶ Прогнозирование урожайности на примере кукурузы **только за счёт почвенно-климатических индикаторов** даёт ошибку в размере 20-25% (бенчмарк для ДЗЗ);
- ▶ Полученные результаты обеспечивают возможность прогнозирования урожайности на больших территориях с заблаговременностью, зависящей от срочности прогноза (однако ключевое значение имеет прогноз до момента завязывания зёрен);
- ▶ Необходим анализ достоверности используемой статистики по урожайности культур

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение № 075-15-2024-663, уникальный идентификатор 13.2251.21.0264)

