

Ансамблевая калибровка биофизической модели APSIM Next Generation для регионального моделирования урожайности яровой пшеницы

Карамзина А. Е., Мордвин Е. Ю., Лагутин А. А.

Алтайский государственный университет, Барнаул

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ
(государственное задание, проект FZMW-2026-0007 «Изменения климата Западной
Сибири во второй четверти XXI века: новые технологии и данные, оценки влияния на
природную среду и экономику региона»)



Актуальность и проблема



Актуальность работы связана с необходимостью получать пространственно распределённые данные об урожайности для проверки спутниковых оценок.



Фактическая урожайность по отдельным муниципальным районам часто недоступна, поэтому спутниковые данные можно сравнивать только с обобщённой региональной статистикой. Это ограничивает точность пространственной валидации.



Математическое моделирование на основе локальных почвенно-климатических условий позволяет сформировать независимый опорный ряд урожайности. Сопоставление результатов моделирования, данных ДЗЗ и официальной статистики повышает достоверность оценок и помогает получать более точные данные об урожайности на субрегиональном уровне.

Цель и подход

Цель работы

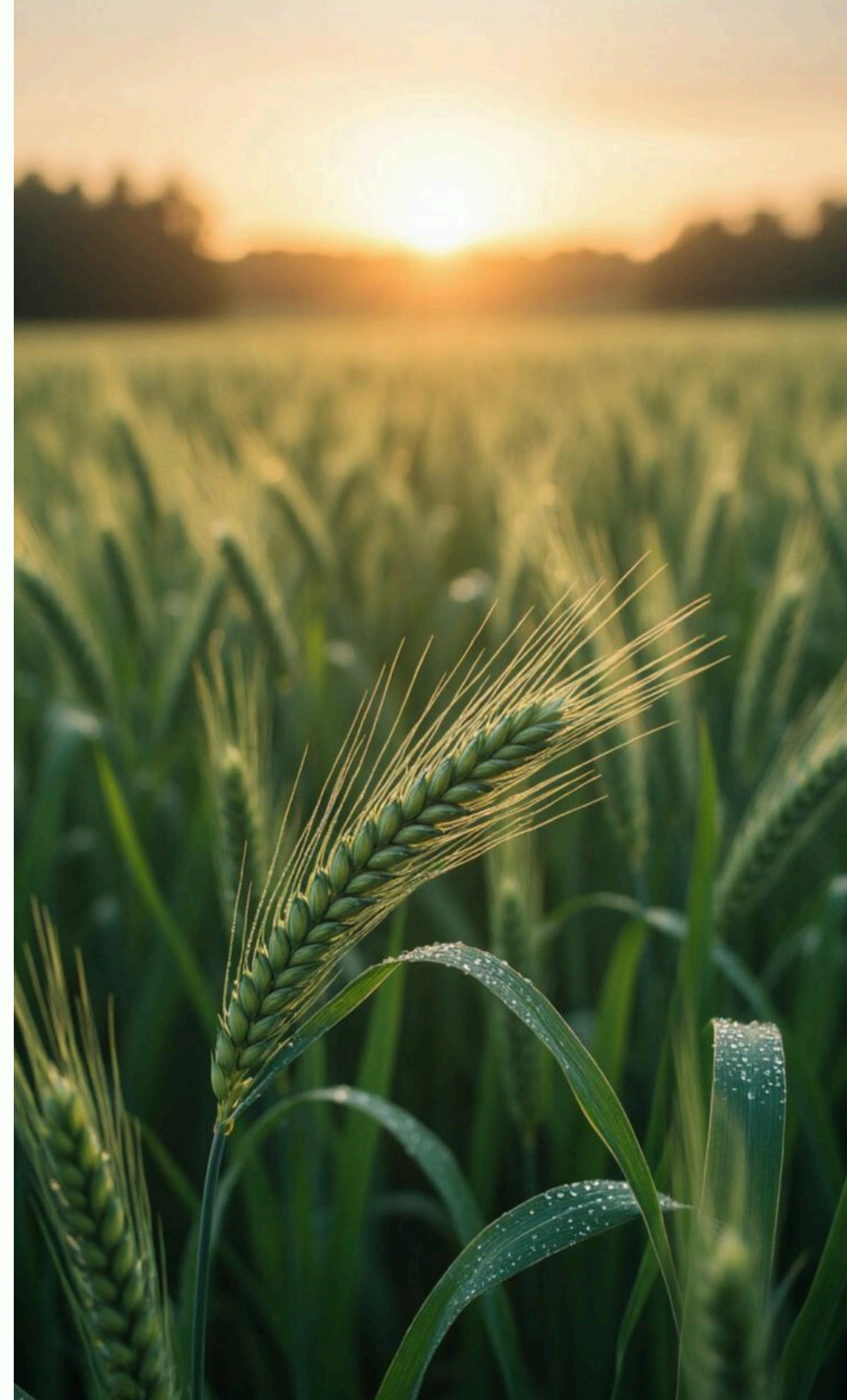
Адаптация APSIM NG к условиям Алтайского края и разработка процедуры автоматизированной калибровки

Подход

Совместная калибровка шести локальных конфигураций модели с штрафом за межлокационную неоднородность ошибок

Схема

Спутниковый мониторинг → интегральная оценка → биофизическая реконструкция → локальные ряды → верификация по SIF



Задачи исследования

- 1 Подготовка пространственно распределённых входных данных
- 2 Адаптация биофизической модели APSIM NG к региональным условиям
- 3 Разработка процедуры автоматизированной калибровки
- 4 Сравнительный анализ схем калибровки (независимой и совместной)
- 5 Пространственная детализация спутниковых оценок урожайности

Модель APSIM

Agricultural Production Systems sIMulator
моделирует взаимодействие почва-растение-
атмосфера-управление.

Модульная биофизическая модель агросистем:
рассчитывает суточный водный, азотный и
углеродный балансы, и рост культуры, опираясь
на реальные погодные и почвенные данные.

Модель имеет открытую архитектуру и
развивается международным сообществом.

R.L. McCown, G.L. Hammer, J.N.G. Hargreaves et al. APSIM: a novel software system for model development, model testing and simulation in agricultural systems research. Agricultural Systems. 1996. V. 50. Pp. 255-271. DOI: 10.1016/0308-521X(94)00055-V



Архитектура и основные модули APSIM

Weather

вход: файл погоды (.met: Tmax, Tmin, осадки, радиация)

Wheat

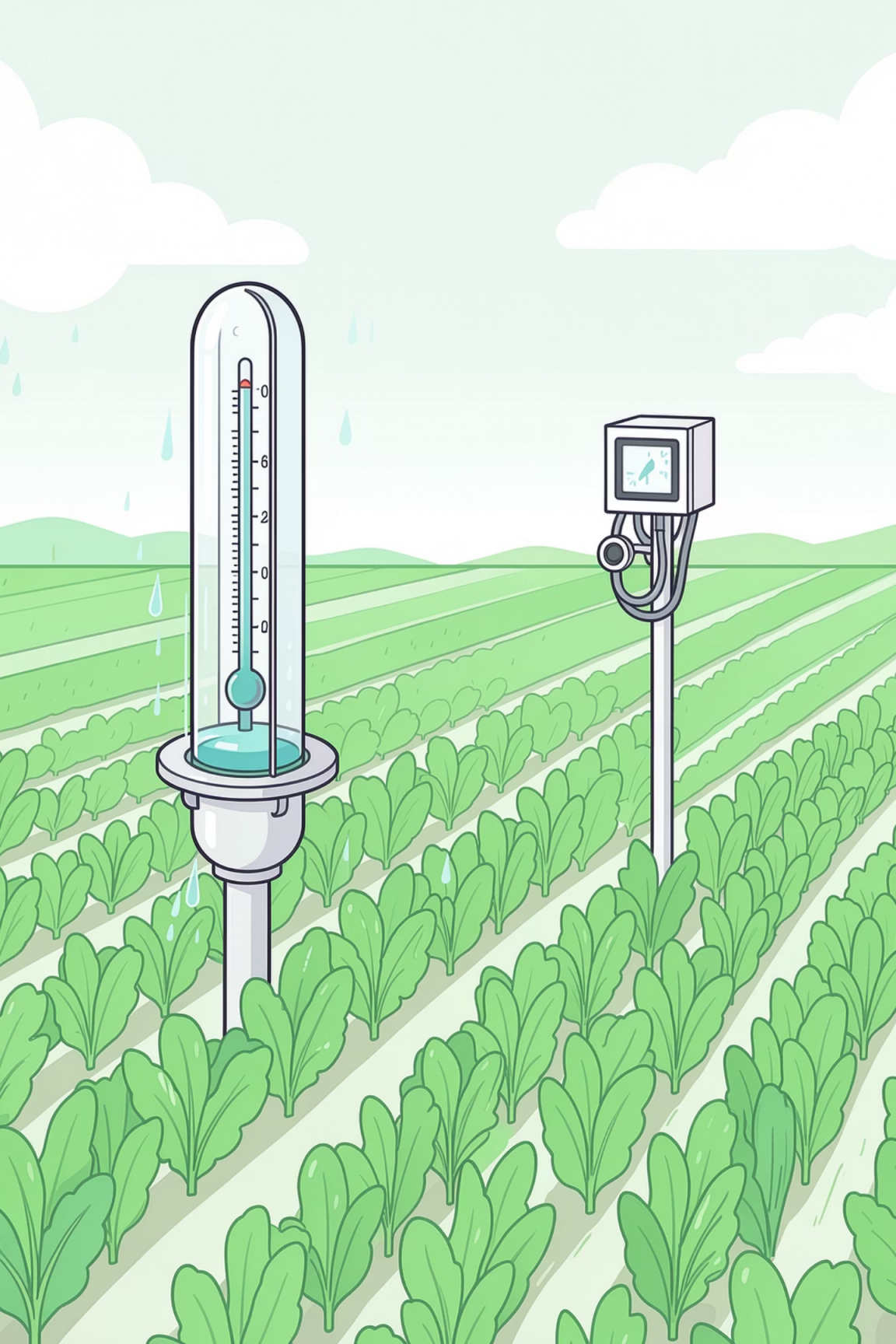
- фенология (фазы развития, температурные суммы)
- рост листьев и корней, LAI, биомасса
- формирование урожая (зерно, биомасса, N)

Soil

- Physical: профиль слоёв, BD, LL15, DUL, SAT
- Water / SoilWater: водный баланс, запасы доступной влаги
- Nutrient / Organic / NO₃, NH₄: азот и органическое вещество

Manager

- правила посева (даты или условия по влаге/осадкам)
- удобрения, ирригация, уборка
- сценарии технологии (разные нормы высева, дозы N и т.п.)



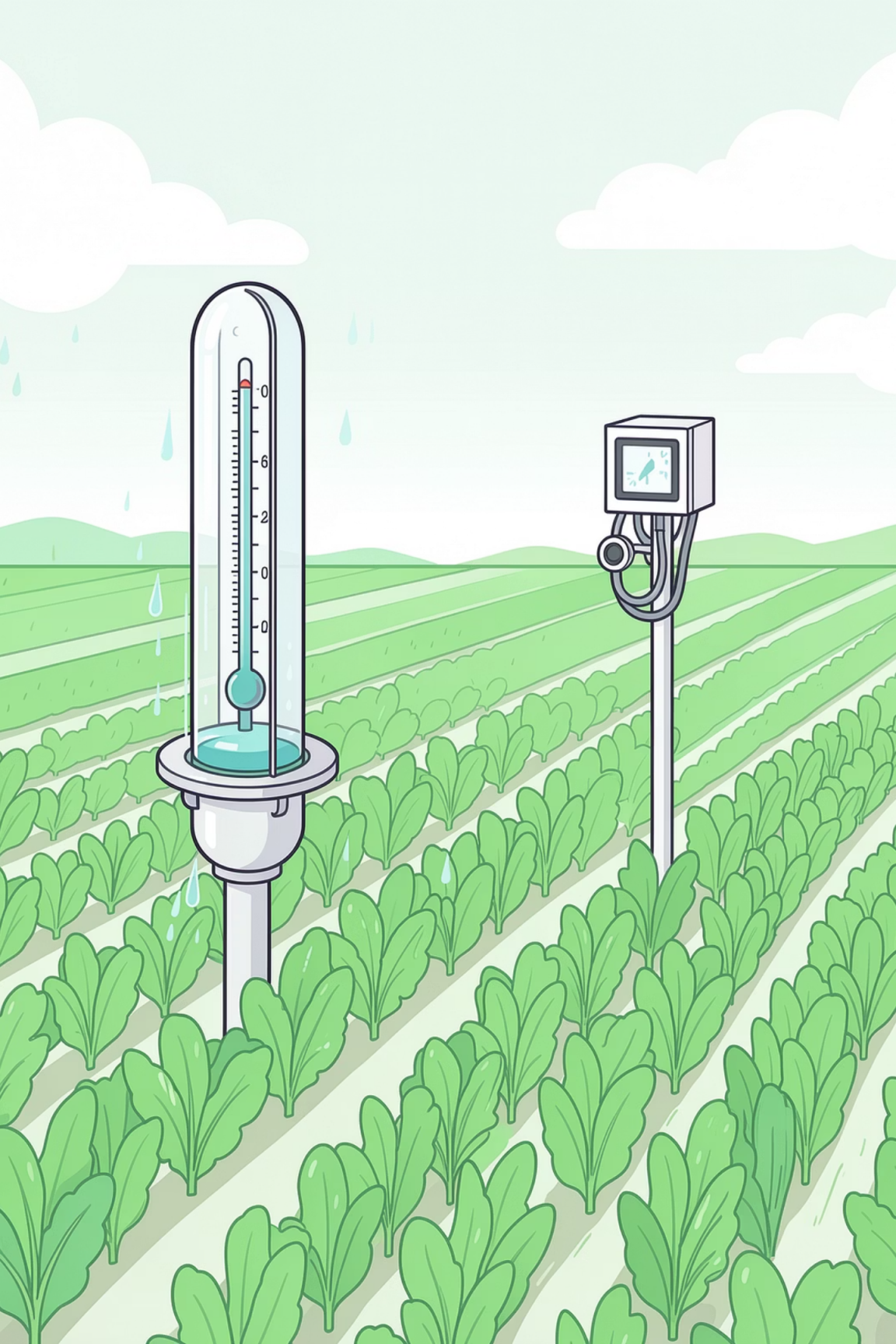
Подготовка данных

Метеоданные

- Суточные по данным ERA5-Land: дата, осадки, максимальная и минимальная температура, солнечная радиация
- Скрипт конвертации в формат APSIM (.met)

Почвенные данные

- Толщина слоёв, плотность (BD), точка увядания (LL15), полевая влагоёмкость (DUL), полная влагоёмкость (SAT).
- Начальная влажность по слоям (SW)
- Содержание углерода, начальный NO_3 и NH_4 по слоям.



Подготовка данных

Агротехника

- даты или правила посева (окно дат, критерии по влаге/осадкам);
- норма высева, глубина, междурядья;
- внесение удобрений (дата, доза, форма N);
- правила уборки (дата или стадия развития).

Культура/сорт

- выбор вида (Wheat, Maize и т.п.) и конкретного сорта (Sunatate) с его параметрами.

Запуск модели

- Расчет урожайности с усредненными параметрами

Генетический алгоритм

Инициализация

Начальная популяция из 45 случайных наборов параметров

1

Отбор

Лучшие особи (с максимальным KGE) отбираются для следующего поколения

3

Мутация

В параметры потомства вносятся случайные изменения (с вероятностью 15-5%)

5

Топ-лист

Лучшая особь (набор параметров) на протяжении всей эволюции сохраняется отдельно

7

Оценка

Для каждого набора параметров запускается модель APSIM на период 2018-2025 гг, и рассчитывается метрика KGE

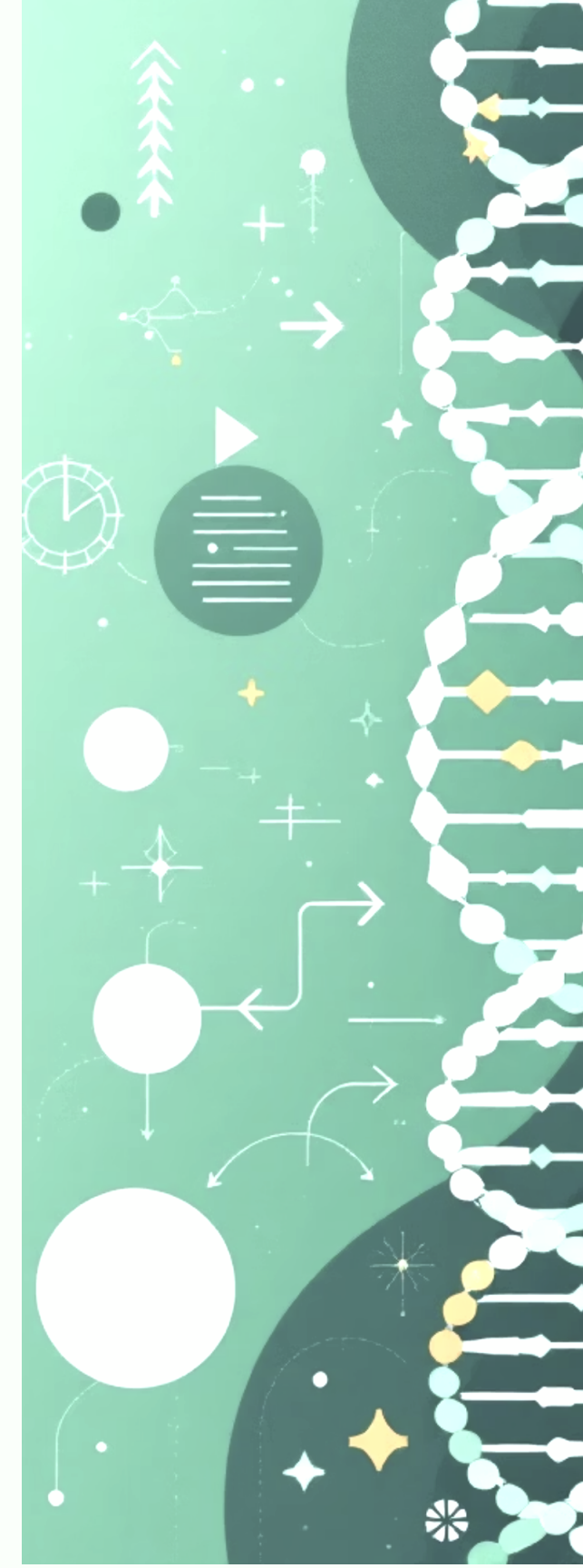
Скращивание

Параметры "родителей" комбинируются для создания нового потомства, перенося лучшие черты в новое поколение

Замена

Новое поколение полностью заменяет старое, и процесс эволюции повторяется 70 раз

6



Генетический алгоритм

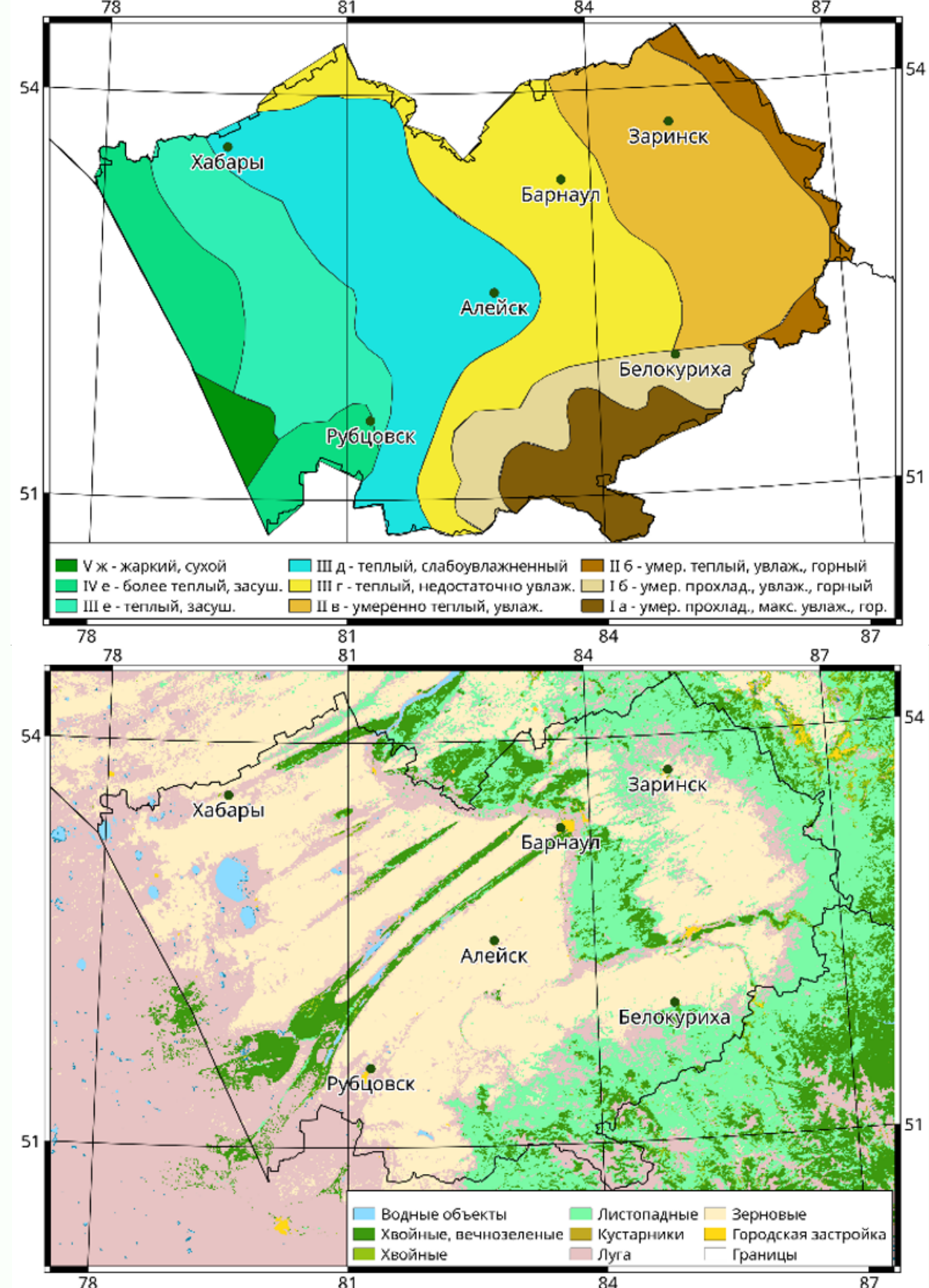
Две схемы калибровки

Независимая схема

8 параметров × 6 локаций = 48 неизвестных

Совместная схема

4 общих технологических (Population, FertAmount, SowingDepth, RowSpacing) + 4×6 локальных (KL_mult, XF_mult, MinESW, MinRain) = 28 неизвестных



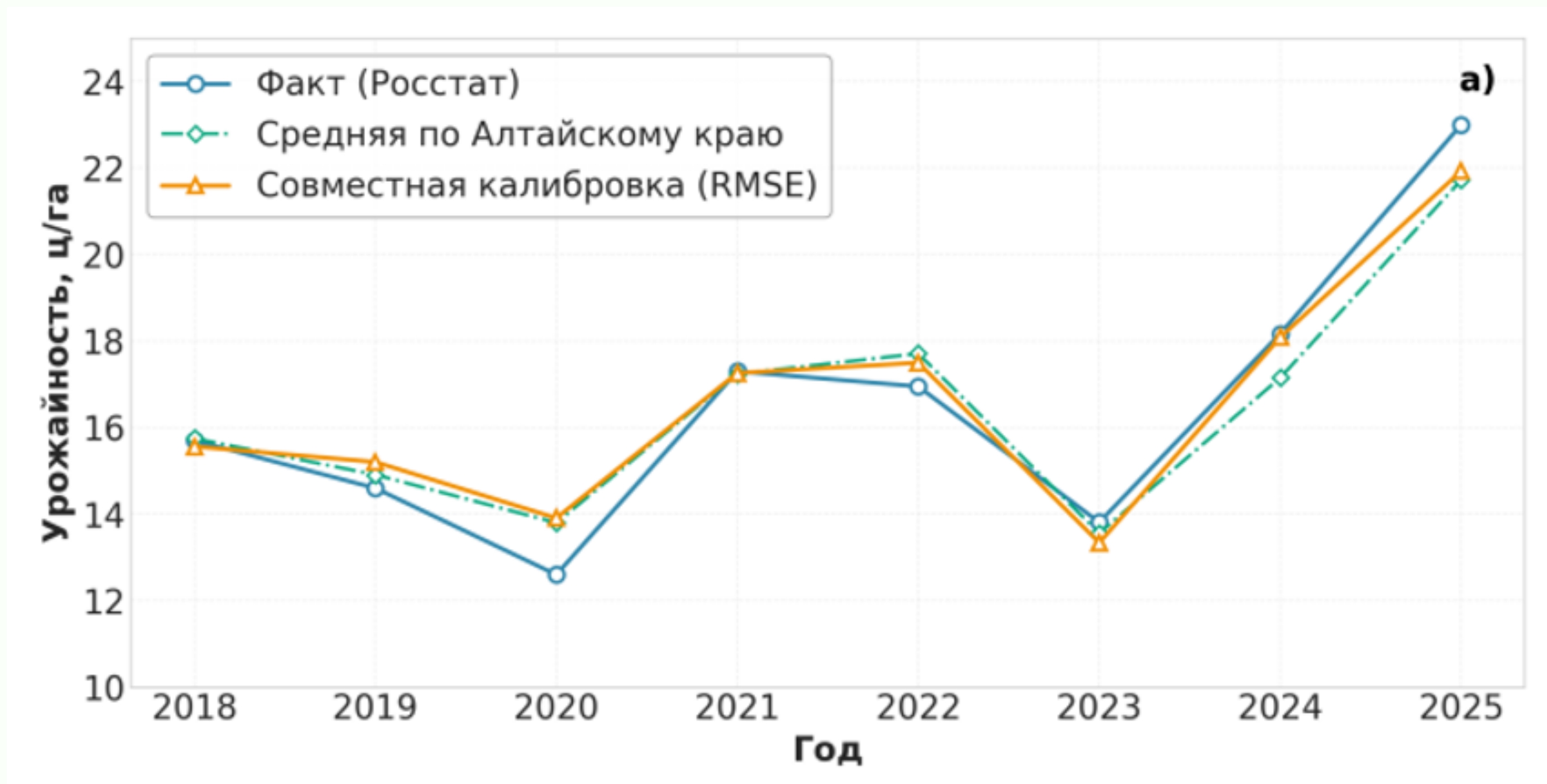
Генетический алгоритм

Варьируемые параметры и диапазоны

Параметр	Заданные значения	Диапазон для ГА
Плотность посева	250 раст/м ²	80-500 раст/м ²
Норма удобрений	40 кг N/га	20-60 кг N/га
Глубина посева	40 мм	30-60 мм
Ширина ряда	200 мм	150-250 мм
Минимальный запас влаги	5 мм	3.0-10.0
Минимальные осадки	2 мм	1.0-7.0
Коэффициент KL	1	0.6-1.3
Коэффициент XF	0.9	0.7-1.0



Результаты моделирования

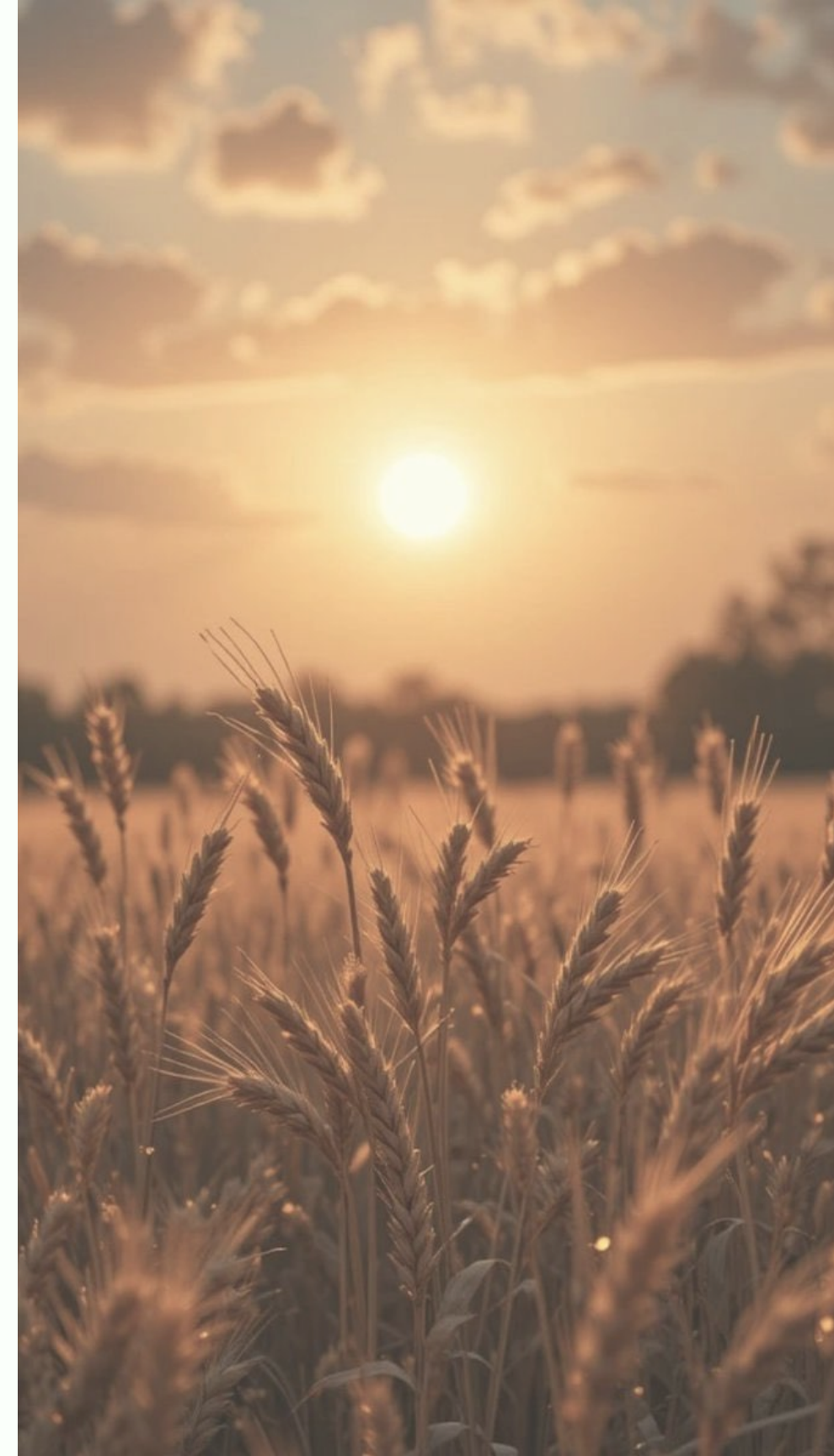


Метрики модели

Метод	RMSE (ц/га)	MAPE (%)	MBE (ц/га)	R ²	KGE
Базовая модель (средние параметры)	1,48	8,1	0,93	0,76	0,71
Совместная калибровка, мин. RMSE	0,69	3,4	0,08	0,95	0,85
Совместная калибровка, макс KGE	1,00	5,2	0,29	0,89	0,83
Независимая калибровка, мин RMSE	0,78	3,7	-0,04	0,93	0,82

Выводы

- 01 APSIM NG применима для яровой пшеницы Алтайского края; автоматизированная калибровка построена на генетическом алгоритме DEAP.
- 02 Совместная калибровка эффективнее независимой по интегральному ряду и даёт агрономически обоснованные параметры.
- 03 Штраф за межлокационную неоднородность снижает, но не устраняет компенсацию ошибок в экстремальные годы.
- 04 Биофизическое моделирование служит инструментом пространственной детализации спутниковых оценок и построения субрегионального мониторинга урожайности.





**Спасибо за
внимание!**