



Прогнозирование урожайности яровых зерновых культур на юге Западной Сибири с использованием данных спектрометра TROPOMI

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



Актуальность



Юг Западной Сибири — регион с развитым агропромышленным комплексом, где основная часть сельскохозяйственных угодий отведена под зерновые и кормовые культуры.



Территория классифицируется как зона рискованного земледелия, что требует внедрения инновационных технологий обработки почвы и методов контроля посевов, а также прогнозирования урожайности для снижения экономических рисков.



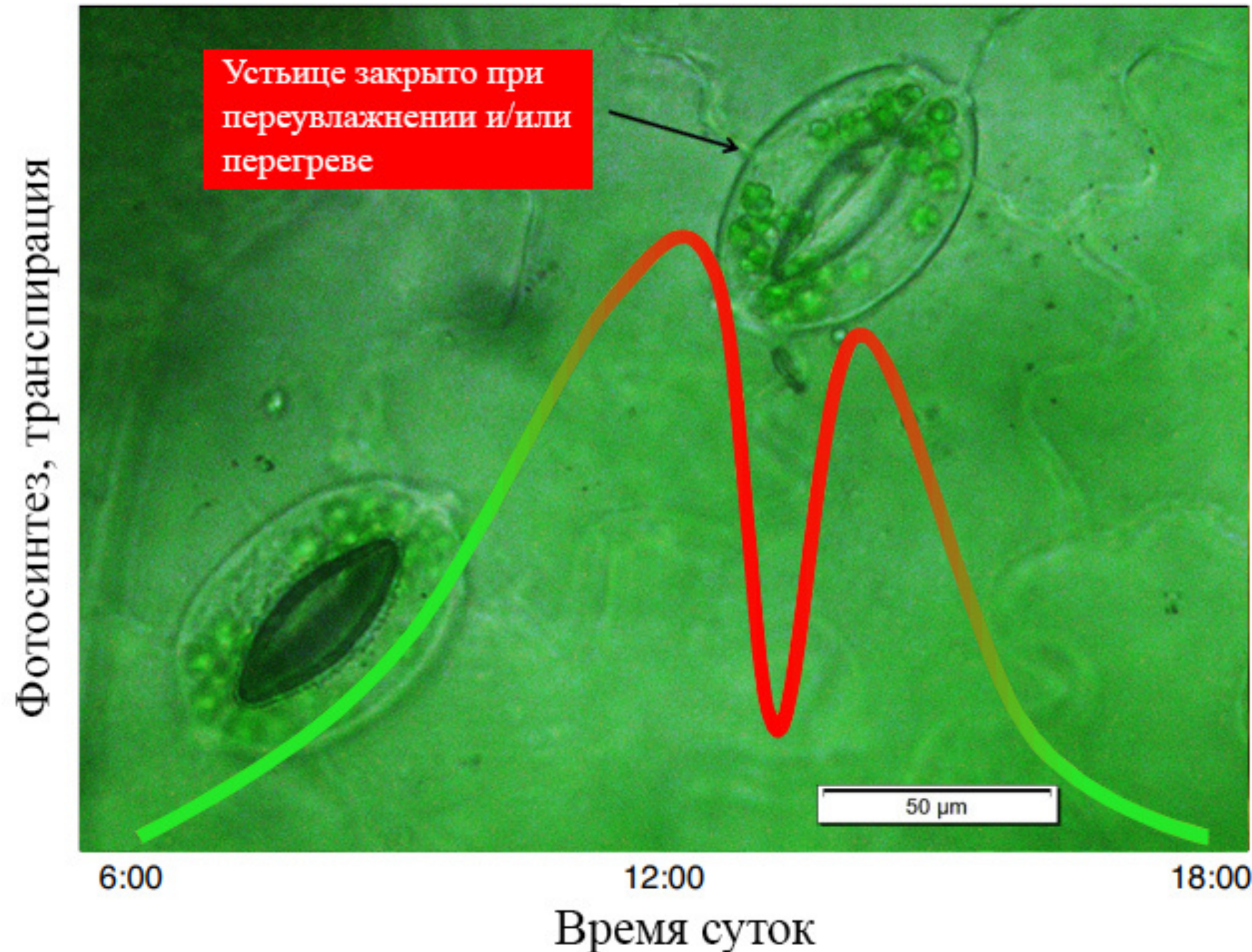
Цель

Разработка прогностической модели, связывающей урожайность яровых зерновых и зернобобовых культур юга Западной Сибири с потоками флуоресцентного излучения, регистрируемыми прибором TROPOMI, установленным на спутнике Sentinel-5P, с упреждением 2 месяца.





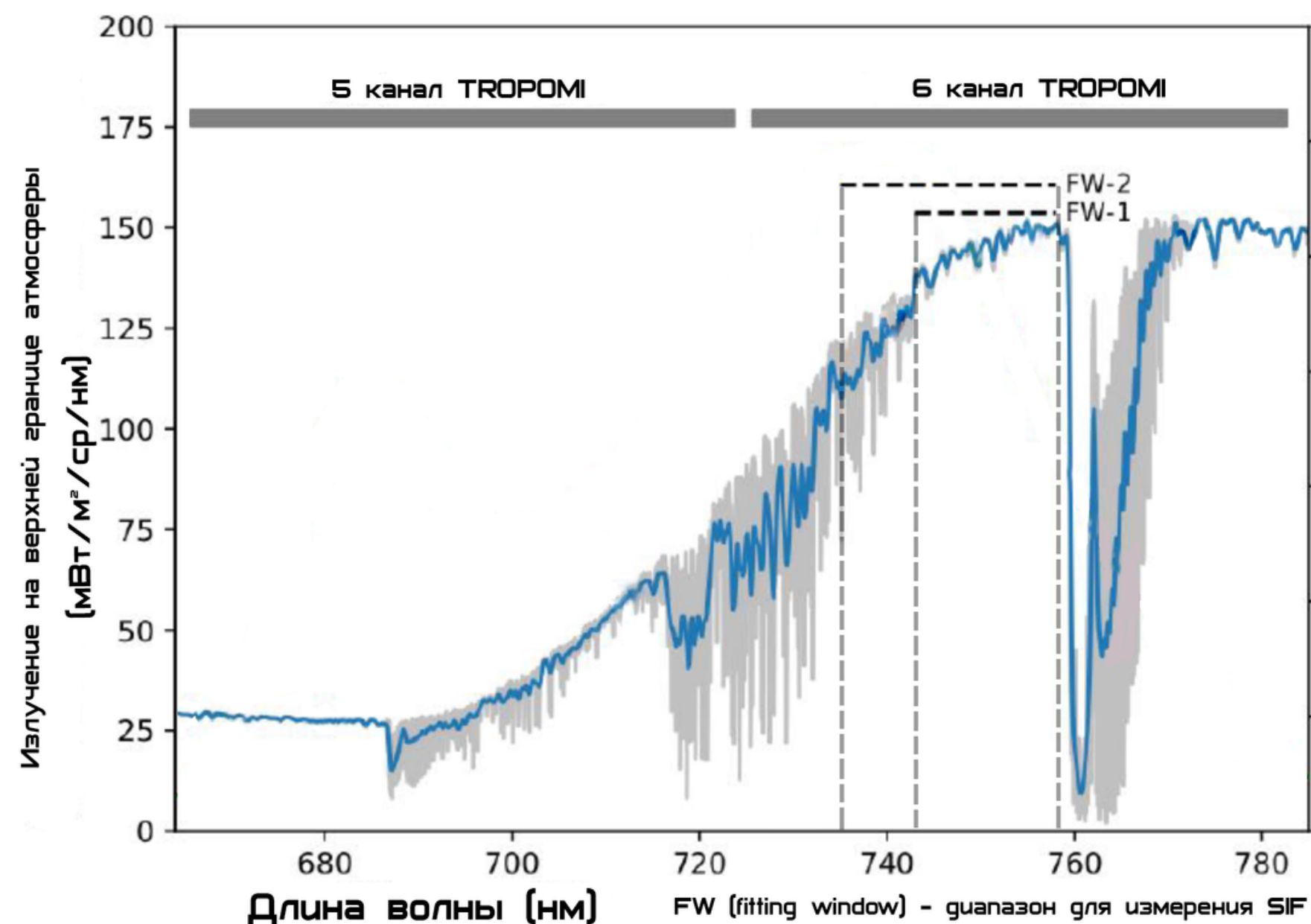
Изменение интенсивности фотосинтеза и транспирации растений в течение светового дня



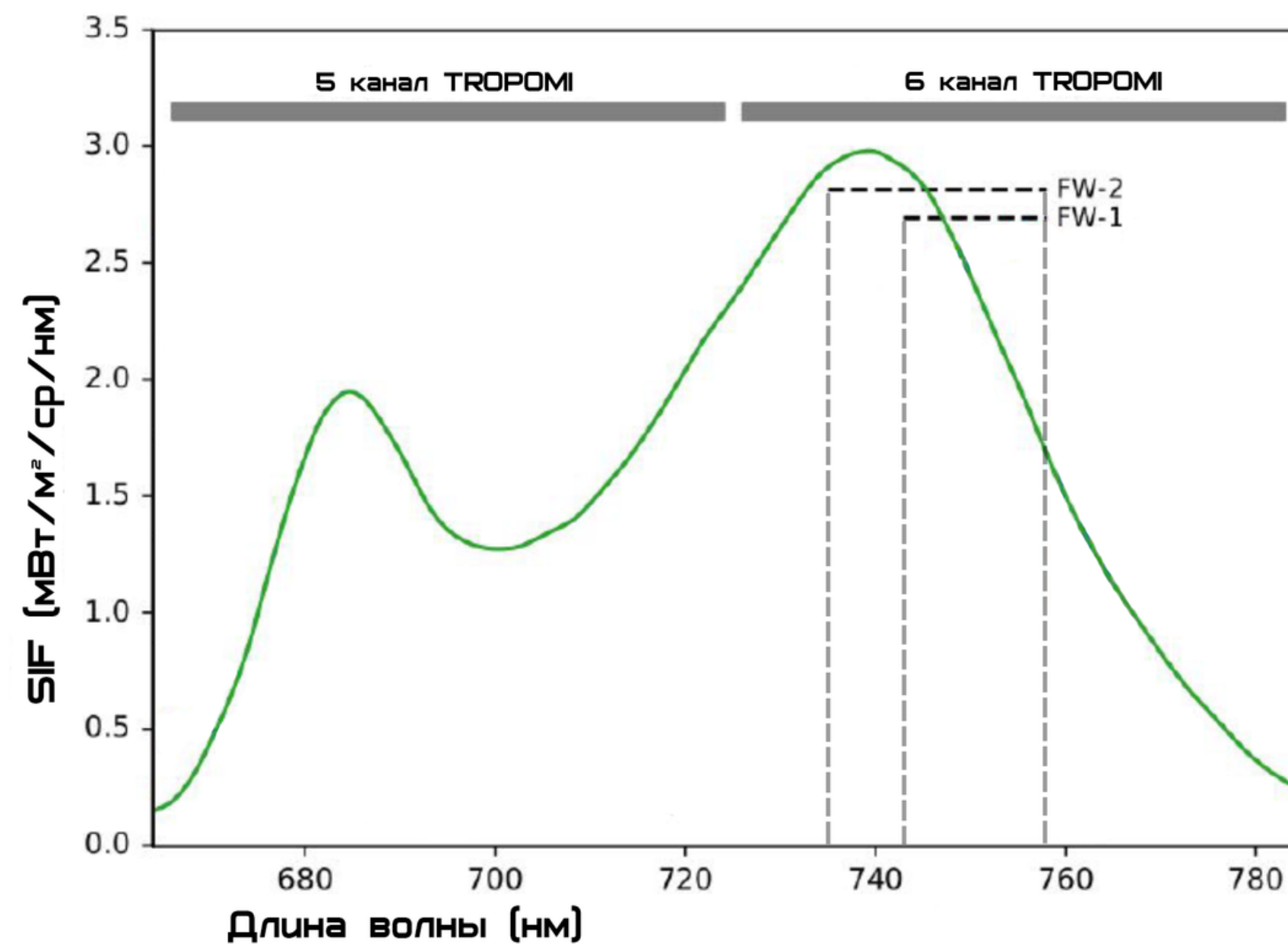
SIF напрямую связана с интенсивностью фотосинтеза, так как она индуцируется солнечным излучением во время световой фазы при условии открытой устьичной щели. Последнее обеспечивает беспрепятственный газообмен между растением и окружающей средой.



Интенсивность излучения на верхней границе атмосферы в диапазоне 680-780 нм по данным TROPOMI



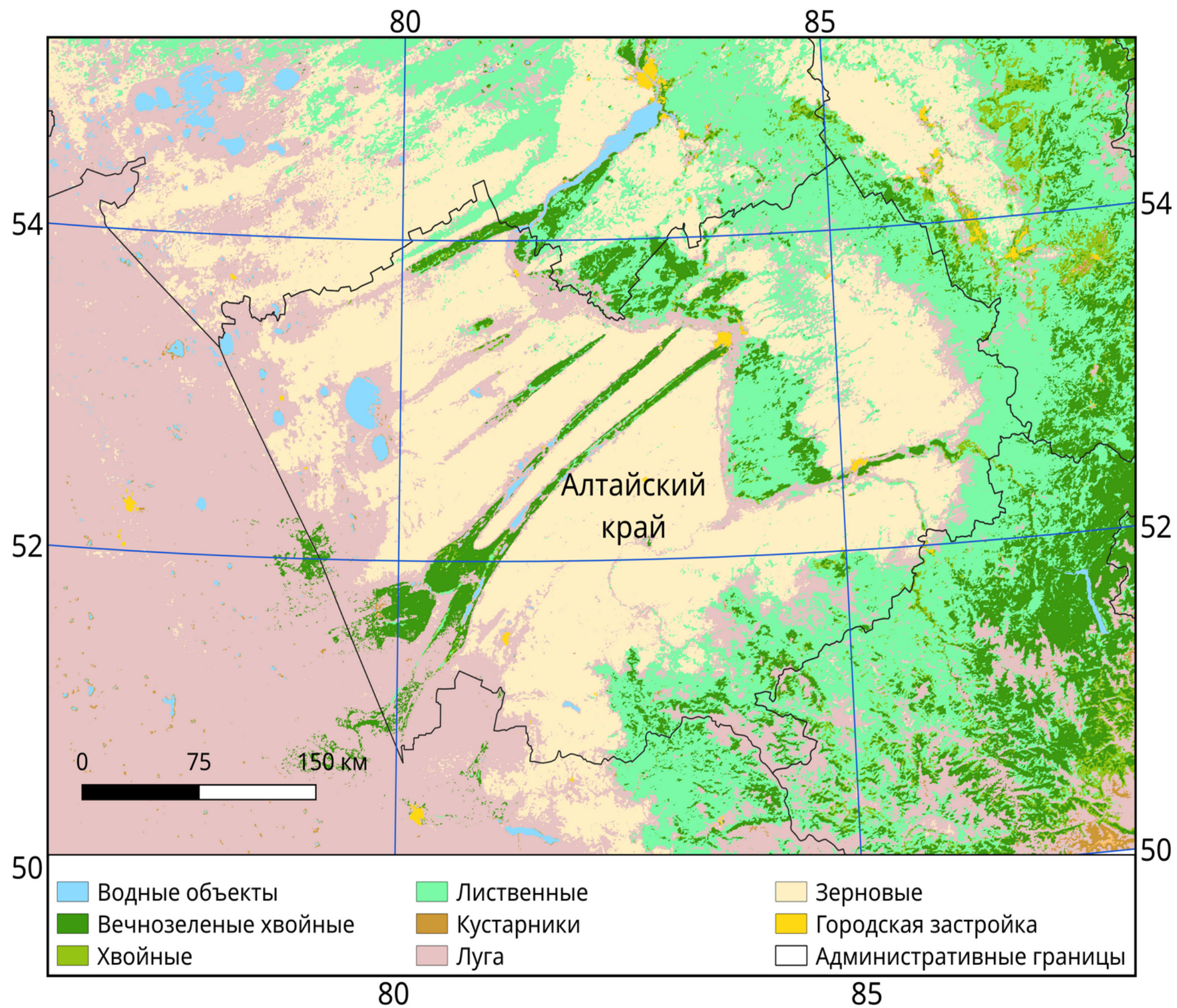
Интенсивность SIF по данным TROPOMI



По данным статьи Guanter L. et al. TROPOSIF: global sun-induced fluorescence from the Sentinel-5P TROPOMI mission // Earth Syst. Sci. Data, 13, 5423–5440, 2021

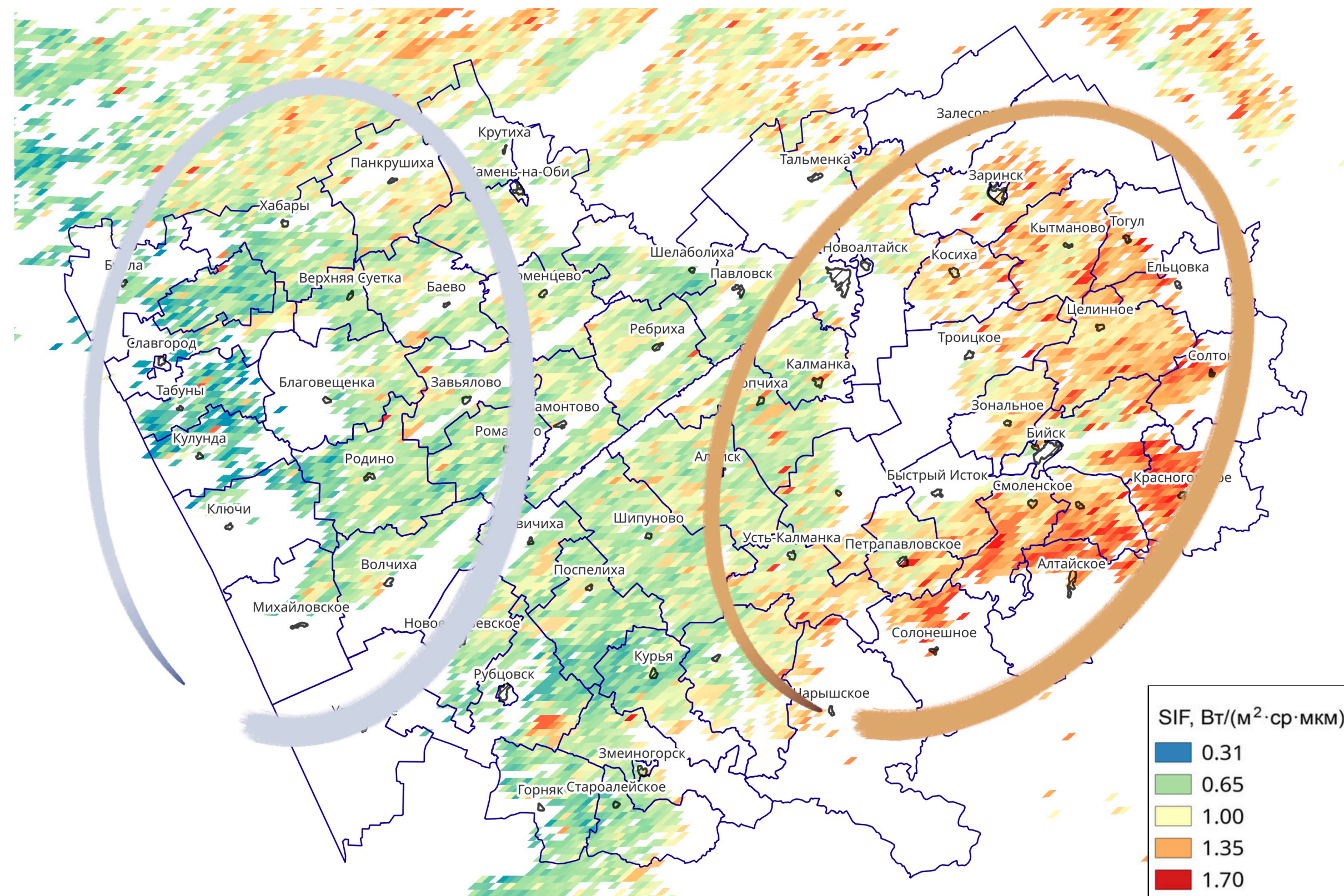


**Классификация типов
подстилающей
поверхности по данным
продукта MCD12Q1 за
2019 год для территории
Алтайского края**



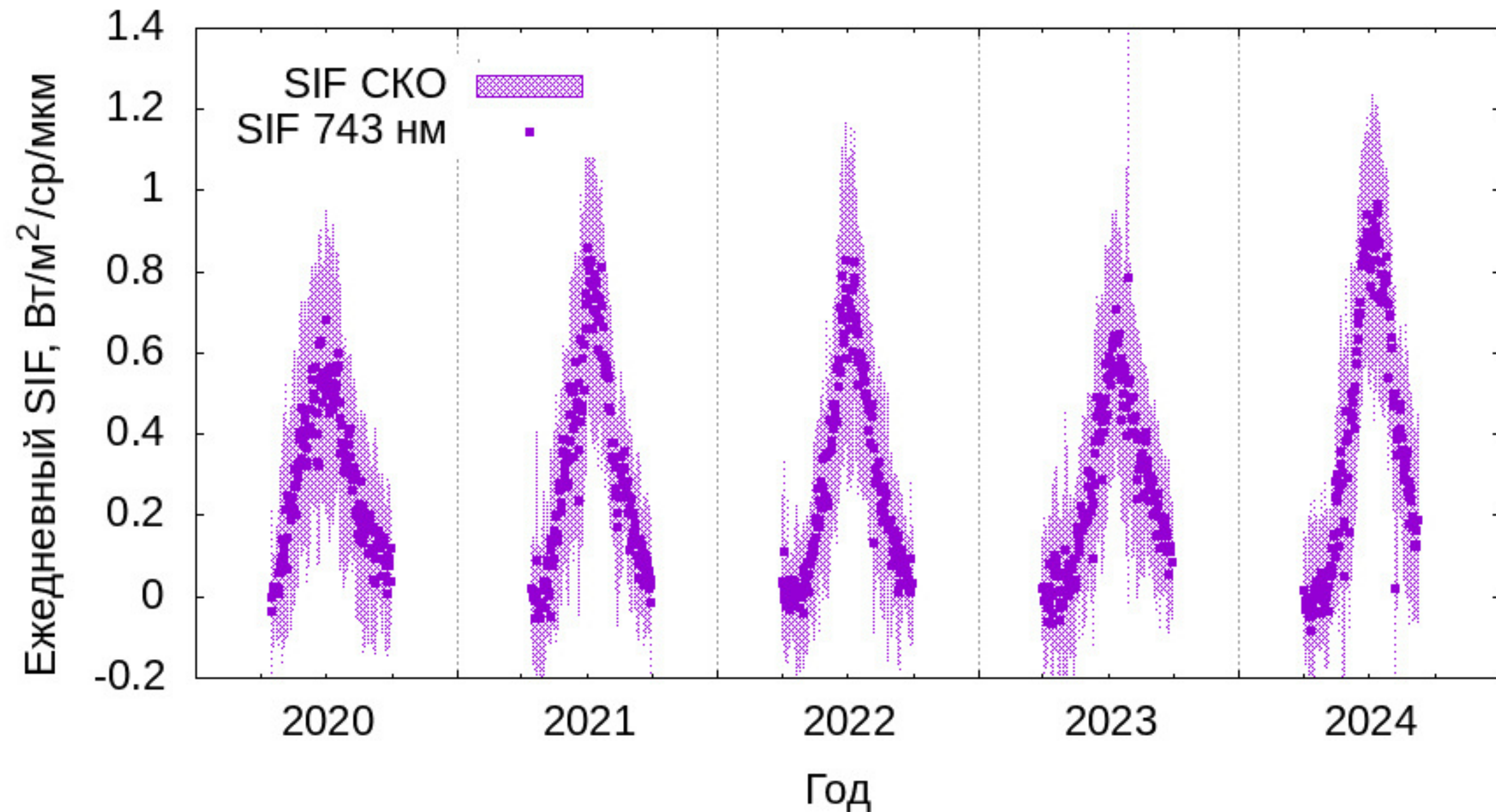


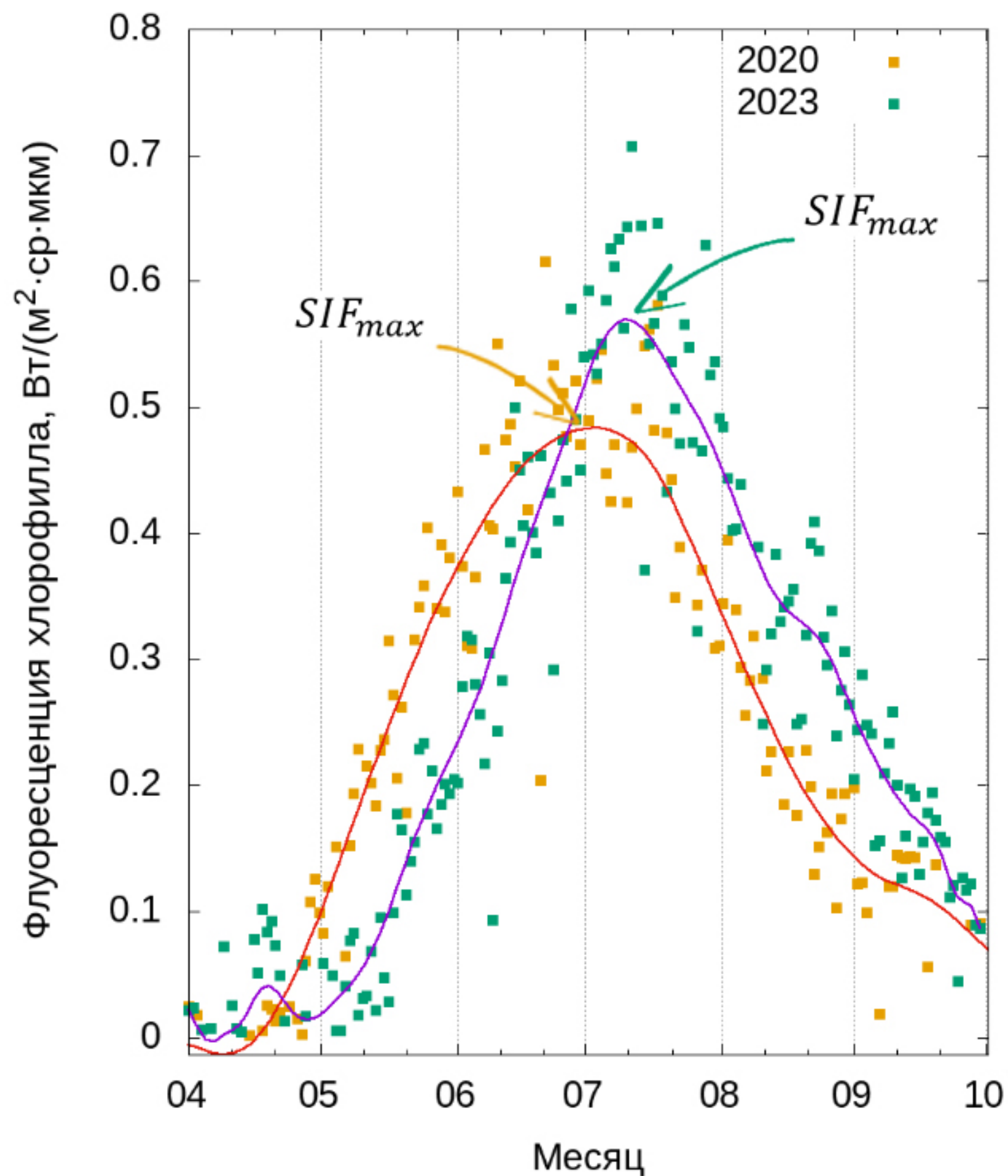
**Максимум в наблюдениях
SIF для пахотных земель
Алтайского края по
данным S5P за период
июнь-июль 2020 года**





Годовой ход и межгодовые вариации SIF для с/х земель на территории Алтайского края в 2020–2024 гг





**Сезонный ход SIF для
земель с/х назначения
Алтайского края
в 2020 и 2023 годах по
данным TROPOMI/
Sentinel-5P**



Модель прогнозирования урожайности на территории юга Западной Сибири

01

Оценка удельной урожайности зерновых и зернобобовых культур:

$$W = M/S$$

M – фактическая урожайность (в млн. тонн) ;

S – обрабатываемая площадь (в млн.га)

02

Коэффициент перехода C от SIF_{max} к потенциальной урожайности

$$\tilde{W} = C \times SIF_{max}$$

03

Связь потенциальной урожайности с фактической, при учете потерь:

$$W = \tilde{W}(1 - l) = C \times SIF_{max}(1 - l)$$





Определение функции потерь

04

Связь потерь l с увлажненностью региона:

$$l = (P - t) \times \varepsilon$$

P – гидротермический коэффициент Селянинова для исследуемого региона для периода август-сентябрь;

t – пороговое значение P , при котором возможны потери (см/°C);

ε – масштабирующий множитель (°C/см).

05

Гидротермический коэффициент:

$$P = 10 \sum_{n=1}^{365} R_n / \sum_{n=1}^{365} T_n$$

R_n – суммарное суточное количество осадков (мм) для дня n ,

T_n – среднесуточная температура приземного слоя воздуха (°C).

Суммирование выполняется при условии $T > T_k$, где T_k – пороговое значение температуры, которое зависит от с.-х. культуры.

Общепринятым значением является $T_k = +10$ °C





Прогнозирование гидротермического коэффициента P



Климатическая модель SEAS5 (ECMWF).

- Прогноз на 6 месяцев вперед
- 1981-2016 гг (hindcast) - 25 элементов ансамбля
- 2017 г - настоящее время (forecast) - 51 элемент ансамбля

Обучающая выборка:

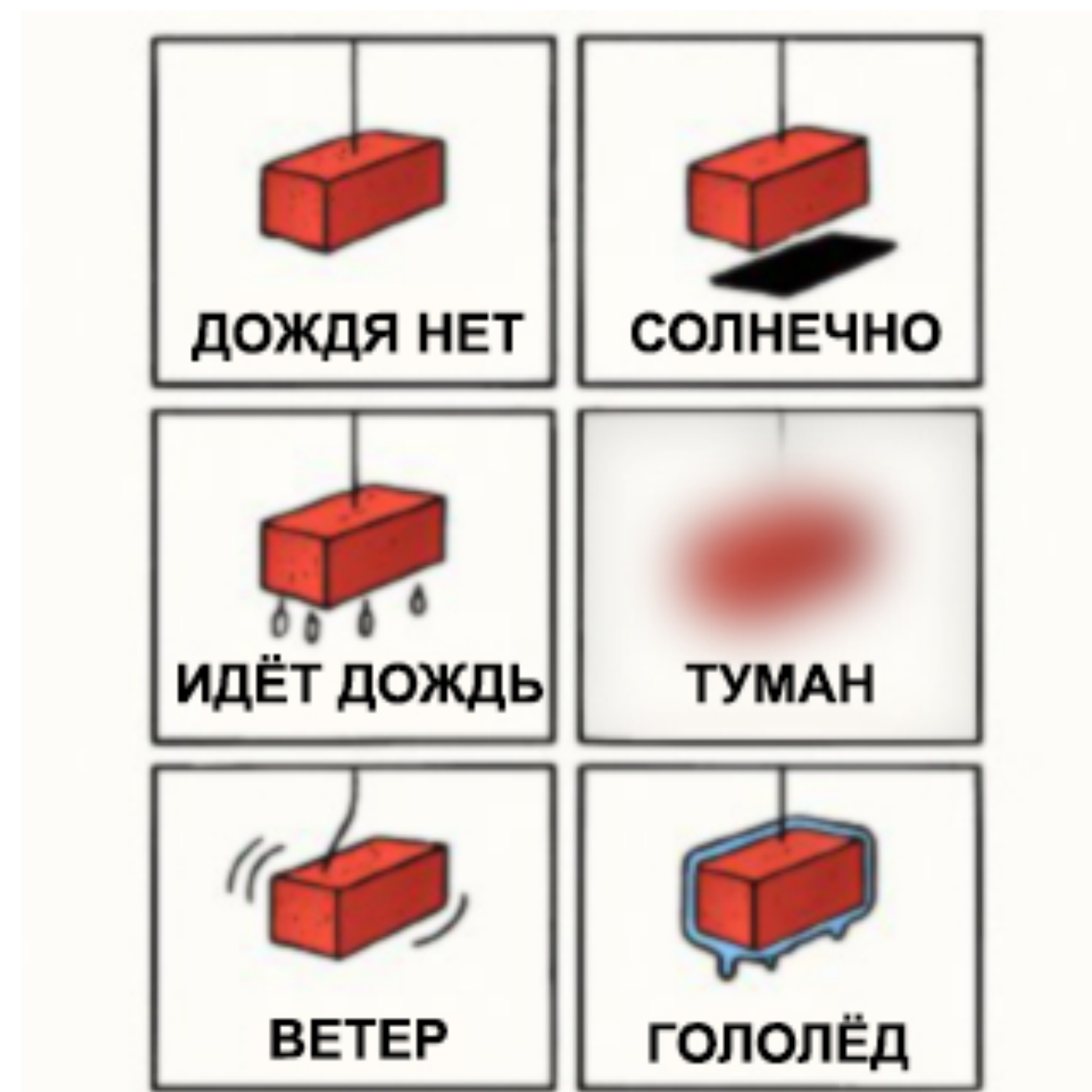
- Разрешение: 0.1°
- Область: $56.5\text{--}50.5^\circ$ с.ш., $70\text{--}90^\circ$ в.д.
- температура приземного слоя воздуха
- суммарные осадки за месяц
- Верификация: реанализ ERA-5 land.



Метод коррекции ансамбля: EQM (Equidistant Quantile Mapping).^{*}



Результат: для 2017–2024 гг. R^2 0.82 (температура) и 0.47 (осадки).

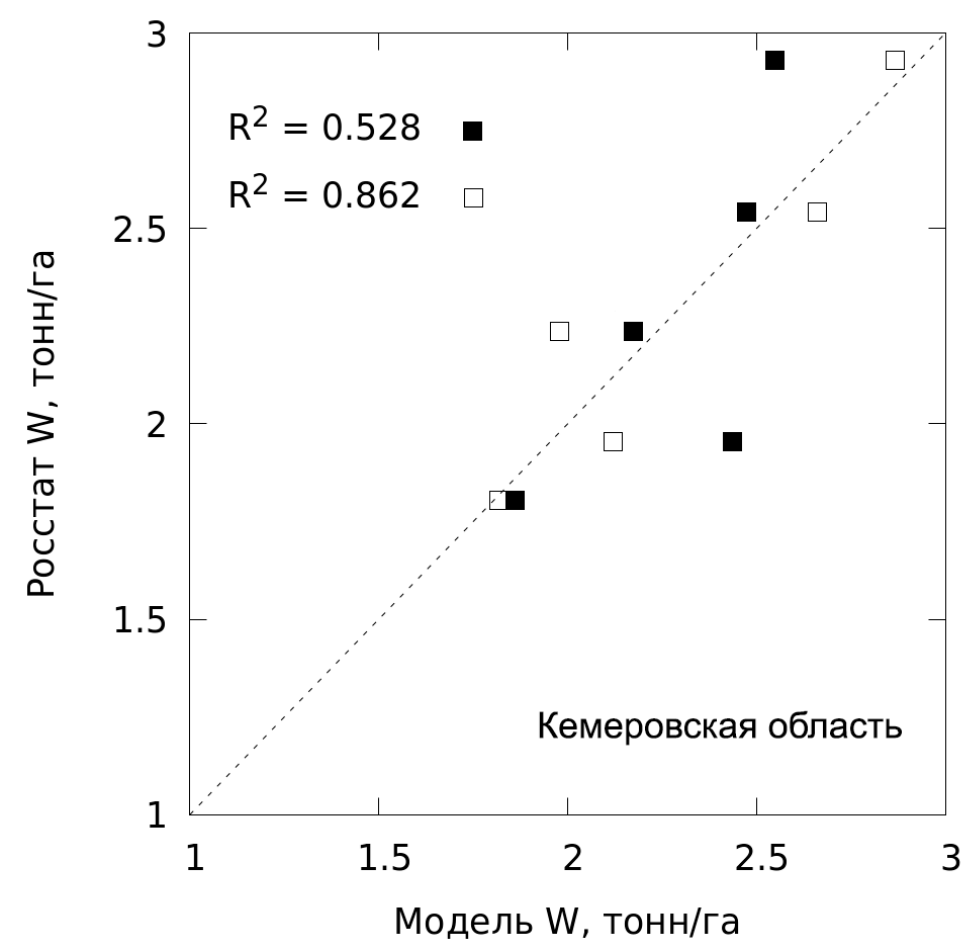
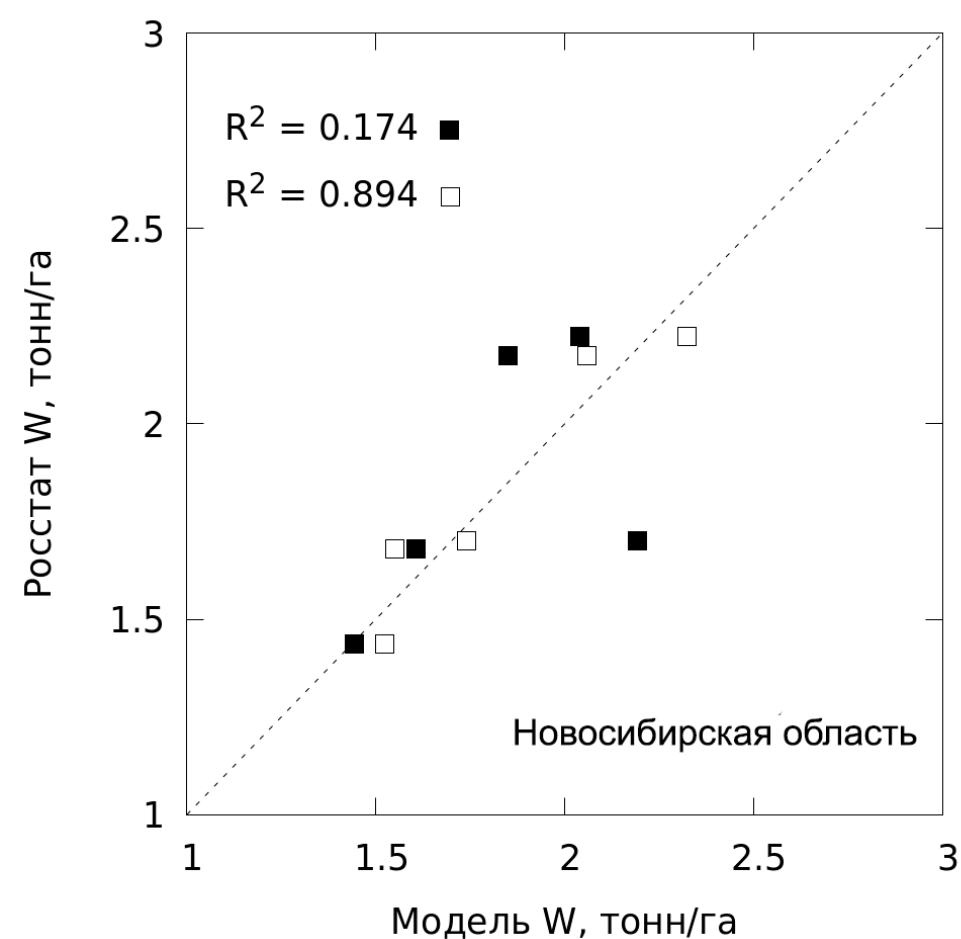
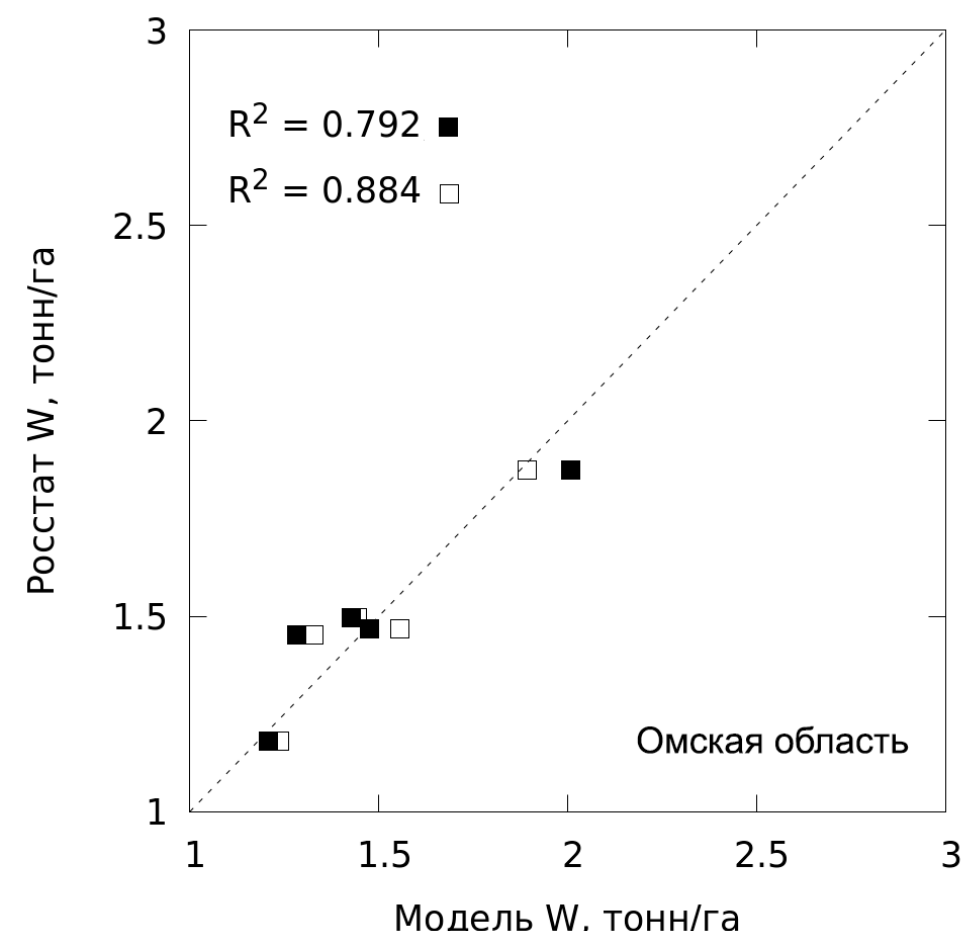
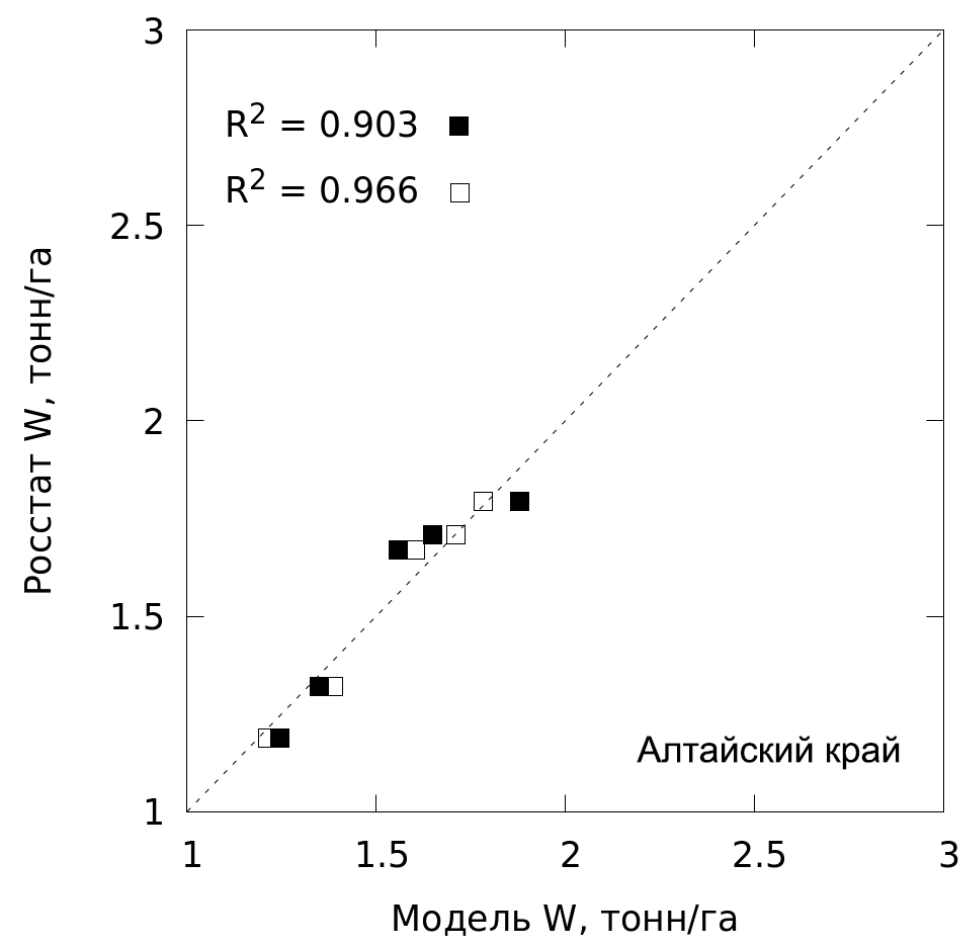


^{*} Cannon A.J., Sobie S.R., Murdock T.Q. Bias Correction of GCM Precipitation by Quantile Mapping: How Well Do Methods Preserve Changes in Quantiles and Extremes?// Journal of Climate. 2015. V.28. Pp. 6938–6959



Регион	Год	SIF_{max} , Вт/(м ² · ср · мкм)	S , млн. га	M , млн. тонн	P , см/°С
Алтайский край	2020	0.734	3.289	3.913	0.786
	2021	0.958	3.235	5.529	0.692
	2022	0.900	3.353	5.597	0.704
	2023	0.773	3.353	4.431	0.703
	2024	1.074	3.115	5.469	0.826
Омская область	2020	0.686	2.028	3.034	0.763
	2021	0.711	1.998	2.934	0.684
	2022	0.645	2.010	2.916	0.716
	2023	0.597	2.128	2.511	0.737
	2024	0.957	2.029	3.803	0.890
Новосибирская область	2020	0.759	1.483	2.491	0.822
	2021	0.959	1.505	3.348	0.737
	2022	0.879	1.535	3.336	0.749
	2023	0.690	1.569	2.254	0.777
	2024	1.022	1.420	2.379	0.905
Кемеровская область	2020	0.996	0.576	1.289	1.125
	2021	1.134	0.610	1.550	0.991
	2022	1.183	0.626	1.833	0.952
	2023	0.862	0.635	1.147	1.070
	2024	1.121	0.576	1.131	1.156

Компоненты модели, связывающей урожайность яровых зерновых и зернобобовых культур юга Западной Сибири с потоками флуоресцентного излучения



Диаграммы рассеяния удельной урожайности по данным SIF TROPOMI/Sentinel-5P и гидротермического коэффициента Селянинова для регионов юга Западной Сибири в 2020–2024 гг



Оценка коэффициентов перехода для регионов юга Западной Сибири по данным TROPOMI/Sentinel-5P в 2020–2024 гг.

Регион	$C1$	$R2$	$C2$	ε	t	$R2$
Алтайский край	1.819	0.903	1.871	0.640	0.705	0.966
Кемеровская область	2.271	0.528	2.503	1.129	0.970	0.862
Новосибирская область	2.240	0.174	2.475	1.859	0.753	0.894
Омская область	2.204	0.792	2.225	0.530	0.765	0.884





Регион	Год	SIF_{max} , Вт/(м ² · ср · мкм)	S , млн. га	Прогноз млн.тонн	Прогноз с коррекцией млн.тонн	P , см/°С
Алтайский край	2025	1.077	2.736	5.361	5.203	0.802
Омская область	2025	0.921	1.877	3.813	3.762	0.839
Новосибирская область	2025	1.073	1.200	2.885	2.390	0.918
Кемеровская область	2025	1.231	0.531	1.483	1.256	1.175

Прогноз урожайности для ряда регионов юга Западной Сибири, сделанный по данным TROPoSIF. Коррекция на P (август-сентябрь) выполнена с использованием прогноза SEAS5 от 01 июля 2025 года.



Результаты



01

Предложена модель связывающая урожайность яровых зерновых и зернобобовых культур юга Западной Сибири с потоками флуоресцентного излучения, которые регистрируются спектрометром TROPOMI/Sentinel-5P с упреждением 2 месяца.

02

Показана устойчивая корреляционная связь между максимумом в спутниковых наблюдениях SIF_{max} и урожайностью зерновых и зернобобовых культур.

03

Установлено, что включение в модель функции потерь, которая опирается на гидротермический коэффициент Селянинова P для периода август-сентябрь, позволило лучшим образом согласовать максимальное значение флуоресценции и удельную урожайность, полученную по данным Росстата.



Спасибо за внимание!

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (государственное задание на проведение научных исследований, выполняемых в АлтГУ, проект FZMW-2023-0007).