Мониторинг суточного хода температуры поверхности суши на территории России по данным с геостационарных метеоспутников серии «Электро-Л»

Кошоридзе Г. С., Успенский А. Б., Хмельницкий А. В.

ФГБУ «Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета»

Постановка задачи

Цель работы: разработка метода дистанционного картрирования полей температуры поверхности суши(ТПС) с высоким временным разрешением по данным аппаратуры МСУ-ГС с геостационарных метеоспутников серии «Электро-Л»;
Мониторинг суточного хода ТПС (СХТ) на территории РФ по разновременным данным с КА Электро-Л №4,5;
Верификация результатов мониторинга с использованием эталонных данных и независимых спутниковых оценок ТПС.
Источник финансирования: работа выполнена в рамках темы 2.7 Плана НИТР Росгидромета на 2025-2029 гг.

Постановка задачи

Картирование полей T_s на территории РФ по данным МСУ-ГС / Электро-л №4,5.

Исходные данные

- Данные измерений МСУ-ГС КА "Электро-Л" №5 (точка стояния 76° в.д.)
- Поля оценок T_s по данным AGRI FY-4b (точка стояния 103° в.д.)
- Поля эталонных оценок T_s реанализа ERA5 (каждый час, разрешение 0.25°)
- Излучательная способность для каналов ε_{ch} по данным атласа CAMEL 2007.

Использованные каналы

4) 03.8 мкм
8) 09.7 мкм
9) 10.7 мкм
10) 11.9 мкм

Описание метода

MLP-регрессия: входной вектор предикторов $\rightarrow$ скрытые слои 256–128–64 с активацией ReLU, BatchNorm и Dropout 0.1 $\rightarrow$ линейный выход T_s.

Предикторы нейросети

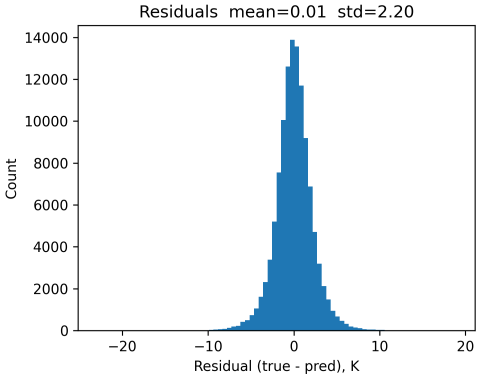
1. Солнечный зенитный угол
2. $\{T_b^{\text{ch}},\ \varepsilon^{\text{ch}}\}$ для каждого канала ch
3. Количество минут прошедших с полуночи

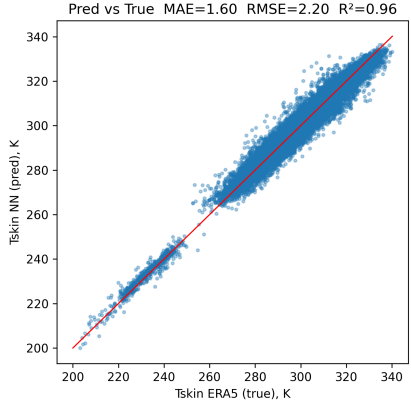
Этапы построения обучающей выборки

1. Прореживание измерений и проектирование на регулярную сетку $0.25^\circ \times 0.25^\circ$.
2. Моделирование измерений МСУ-ГС (RTTOV + GFS NCEP) и отбрасывание ”облачных” пикселей пороговым методом
3. Формирование данных для нейросетей (T_s^{ch} из ERA5, ε^{ch} из атласа).

Используемые средства: Python, PyTorch (CUDA), RTTOV13

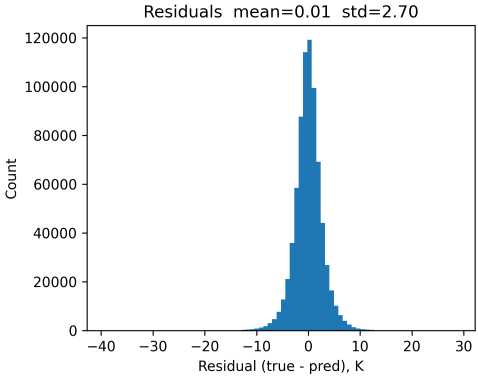
Результат обучения для Электро 5

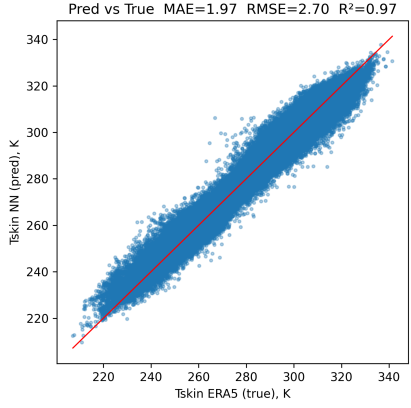




Гистограмма и диаграмма рассеяния на зависимой тестовой выборке нейросети. Сравнение с ERA5.

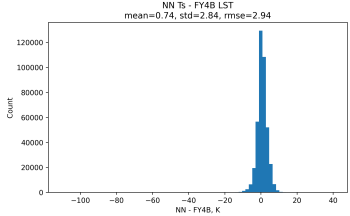
Результат обучения для Электро 4

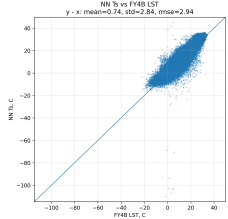


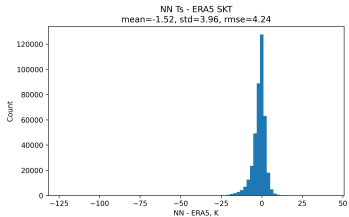


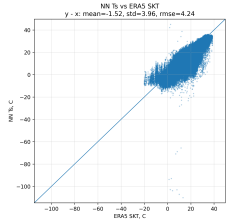
Гистограмма и диаграмма рассеяния на зависимой тестовой выборке нейросети. Сравнение с ERA5.

Анализ результатов 26.06.2026 18:00 UTC



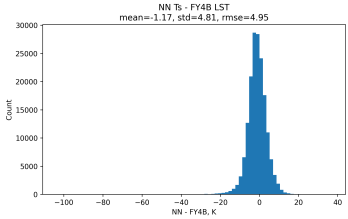


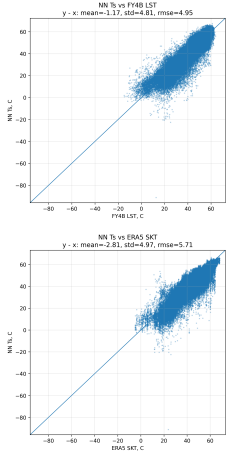




Гистограммы и диаграммы рассеяния на независимой тестовой выборке для области покрытия в пределах видимого диска. Сравнение с оценками ТПС по данным AGRI FY-4b и ERA5.

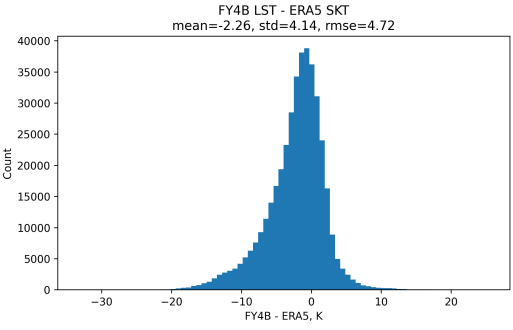
Анализ результатов 28.06.2026 08:00 UTC

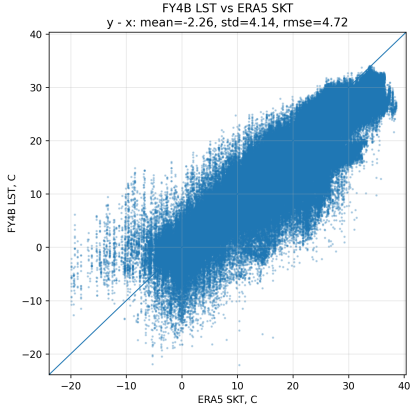




Гистограммы и диаграммы рассеяния на независимой тестовой выборке для области покрытия в пределах видимого диска. Сравнение с оценками ТПС по данным AGRI FY-4b и ERA5.

Сравнительный анализ оценок ТПС по данным AGRI и ERA5 (26.08.2026 18:00 UTC)





Гистограмма и диаграмма рассеяния я на независимой тестовой выборке для области покрытия в пределах видимого диска. Сравнение с оценками ТПС по данным AGRI FY-4b и ERA5.

Пример картрирования ТПС по данным КА Электро №5 (26.08.2026 18:00 UTC)

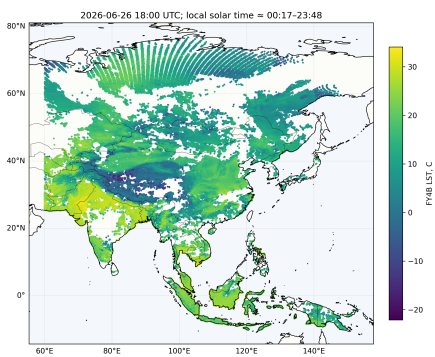


Рис.: Поле восстановленной T_s^{NN}

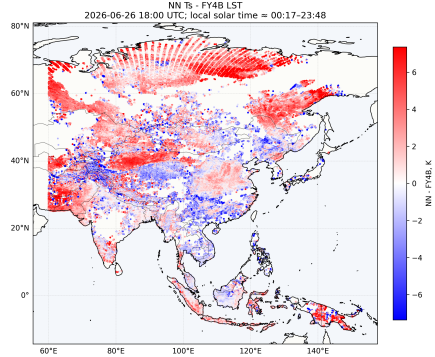


Рис.: Поле разности $T_s^{\mathrm{NN}} - T_s^{\mathrm{fy4b}}$

Графики суточного хода T_s^{NN} для различных пунктов зондирования

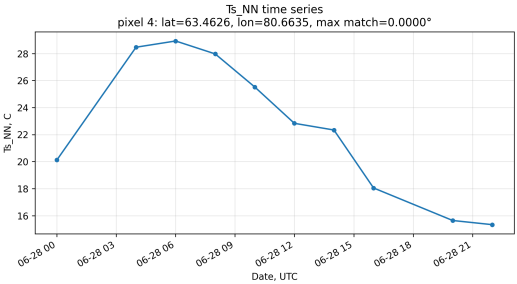


Рис.: Суточный ход T_s^{NN}

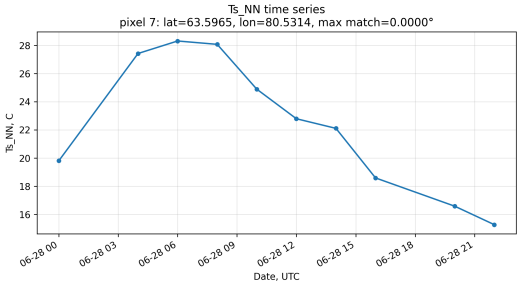


Рис.: Суточный ход T_s^{NN}

Карта ТПС на территории РФ 15.08.2026 00:00 UTC

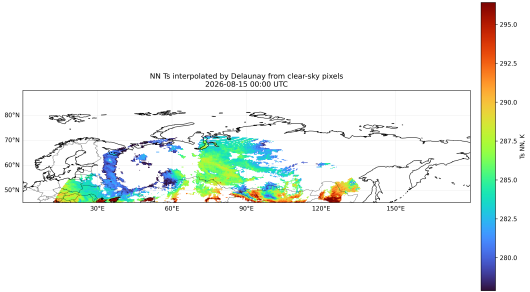


Рис.: Поле T_s^{NN}

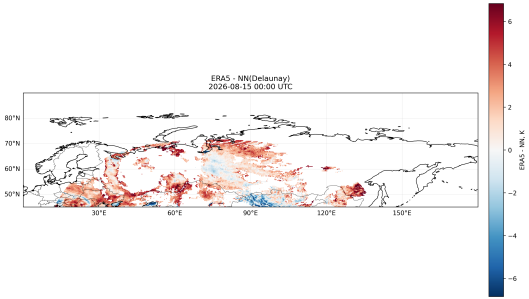


Рис.: Поле $T_s^{\mathrm{ERA5}} - T_s^{\mathrm{NN}}$

Карта ТПС на территории РФ 15.08.2026 12:00 UTC

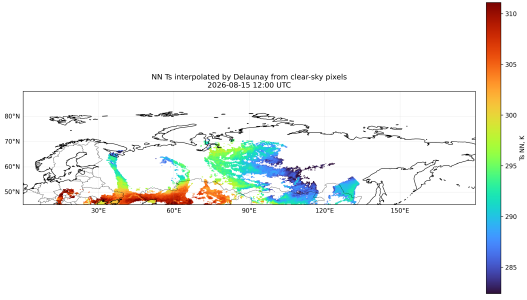


Рис.: Поле T_s^{NN}

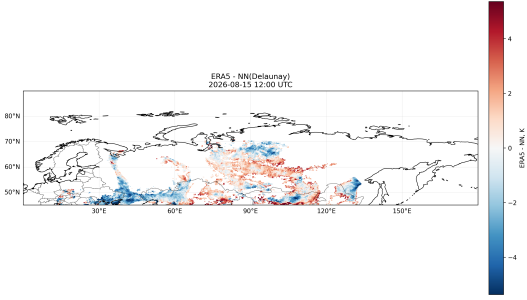


Рис.: Поле $T_s^{\mathrm{ERA5}} - T_s^{\mathrm{NN}}$

Статистика погрешности оценок ТПС на территории РФ 15.08.2026

	$\mu_{\text{ERA5-NN}}$	$\sigma_{\text{ERA5-NN}}$	$\mu_{\text{FY4B-NN}}$	$\sigma_{\text{FY4B-NN}}$
00:00	1.9	2.4	-1.2	2.5
06:00	0.3	2.8	0.8	4.6
12:00	-0.1	2.3	-1.5	3.1
18:00	0.3	2.4	-2.5	2.3

Выводы

- Предложен метод дистанционного определения температуры поверхности суши (ТПС или T_s) с высоким временным разрешением для прослеживания поведения T_s в течении суток, т. е. оценки суточного хода (СХ) T_s в условиях безоблачной атмосферы по данным измерений радиометров - имаджеров МСУ-ГС, входящих в состав целевой аппаратуры геостационарных космических аппаратов (КА) серии «Электро-Л».
- Погрешности картирования ТПС и СХТ находятся на уровне современных зарубежных систем мониторинга.
- Необходимо исследование сезонной зависимости погрешностей картирования ТПС и СХТ.

Список литературы

1. Успенский А.Б., Кошоридзе Г.С. Определение температуры поверхности суши по данным спутникового гиперспектрального инфракрасного зондировщика ИКФС-2 // Исследование Земли из космоса. – 2026. – № 2. – С. 3–14.
2. Hersbach H. and Coauthors. The ERA5 global reanalysis // Quart. Journ. of the Royal Meteorol. Soc. 2020. - Т. 146. - №. 730. - P. 1999-2049.