

Анализ закономерностей в распределении температурного поля промышленных городов Сибири по данным Landsat 8

Е.А. Мамаш(1), И.А. Пестунов(1), М.С. Нестеренко(2)

*(1)Федеральный исследовательский центр информационных и
вычислительных технологий*

(2)Новосибирский государственный университет

Актуальность исследований

- В последние годы все большую популярность приобретает использование спутниковых данных для оценки состояния и перспектив развития внутригородских территорий.
- Современные системы обработки ДДЗ, такие как Google Earth Engine (GEE) и ВЕГА-Science, разработанная в ИКИ РАН, позволяют осуществить переход от обработки отдельных сцен к анализу временных серий изображений.
- Анализ температурных полей крупных промышленных городов позволяет выявить тепловые аномалии, закономерности в распределении температуры на территории города, что важно для решения экологических проблем, рационального планирования и развития городской инфраструктуры.

$$T_{LST} = \frac{T_B}{\left(1 + \lambda \frac{T_B}{c_2}\right) \cdot \ln \varepsilon} - 273.15,$$

Здесь T_B - температура спектральной яркости (К), которая определяется интенсивностью излучения в спектральном канале спутника; λ – эффективная длина волны, для 10 канала Landsat 8 равна $10.8 \mu\text{m}$; $c_2 = h \cdot c / k_B = 1.4388 \cdot 10^{-2} \text{ mK} = 14388 \mu\text{mK}$ (вторая радиационная постоянная); $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ (постоянная Планка); $k_B = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$ (константа Больцмана); $c = 2.998 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$ (скорость света); ε - коэффициент эмиссии.

Оценка коэффициента эмиссии ε выполняется на основе вегетационного индекса NDVI*. Проводился сравнительный анализ результатов расчетов значений температуры, вычисленной по формуле выше для коэффициента эмиссии, полученного на основе NDVI со случаем, когда коэффициент считается постоянным и равным 0.98. Разница значений варьировалась в пределах градуса, что говорит, в целом, о малой чувствительности результатов подсчета LST к данному параметру. Кроме того, при построении композитного изображения накладывались маски, исключаяющие облачность и тени от облаков.

*A. Sekertekin, and S. Bonafoni, *Remote Sensing*, 12(2), 294 (2020)

Схема получения распределения LST на территории городов по данным спутника Landsat 8.



Валидация спутниковых данных

1. На основе данных метеостанций: для валидации использовались данные с пяти метеостанций, расположенных в черте города Новосибирска.

Для всех метеостанций извлечены архивные данные за период 2013-2019 гг. (сайт <https://rp5.ru>).

2. Используя данные среднемесячных значений температуры Обского водохранилища (<https://travel.org.ua/water/obskoe-more-temperatura-vody>, <https://seatemperature.ru/current/russia/ob-novosibirsk-sea-temperature>).

Вычислялось средневзвешенное значение температуры воды в водохранилище, в качестве весов выступало количество спутниковых снимков за каждый месяц.

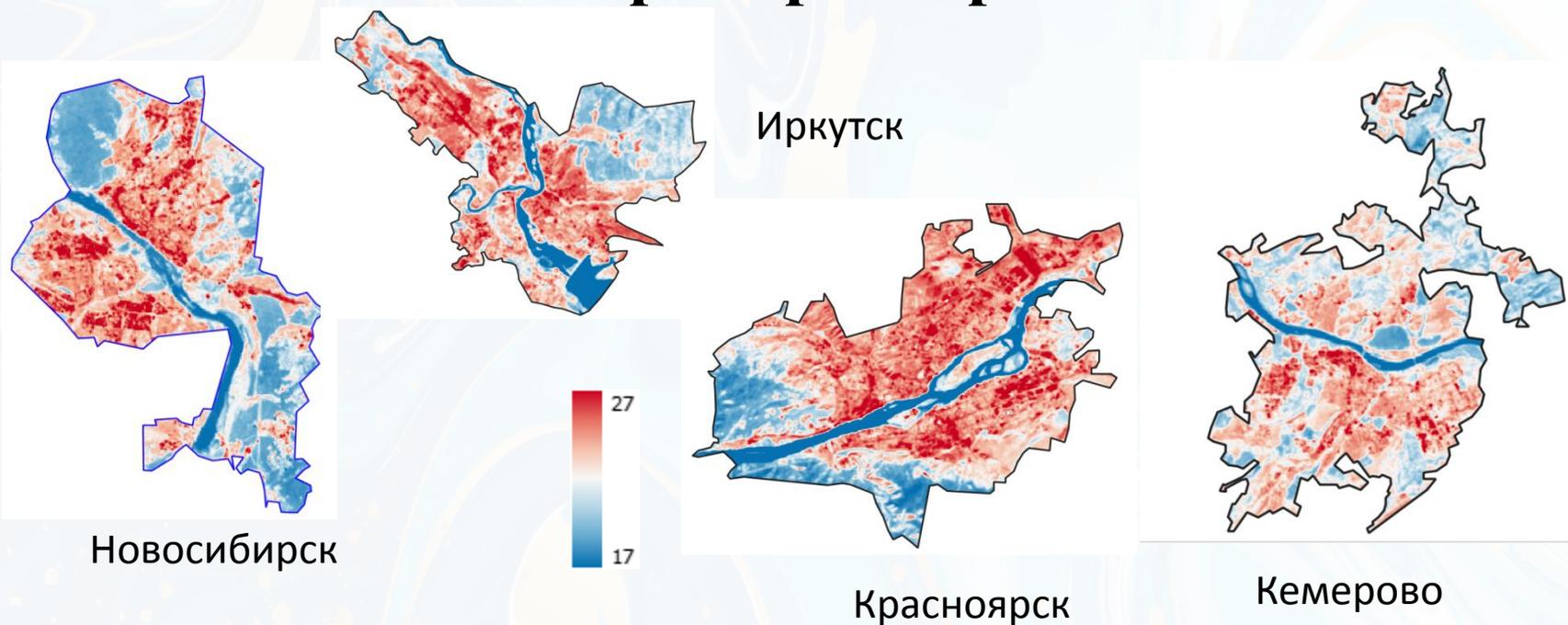
Установлено, что между данными LST и наземными измерениями существует сильная корреляция, в том числе они могут служить дополнительным источником информации для мониторинга температурного режима водных объектов.*

* Мамаш Е.А., Пестунов И.А., Чубаров Д.Л. Построение температурных карт города Новосибирска на основе данных спутника Landsat 8 // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2021. Т. 4. № 1. С. 52-59.

Используя данные 10-го канала спутника Landsat 8 в системе GEE построены температурные карты крупных промышленных городов Сибири (Новосибирск, Красноярск, Кемерово, Томск, Барнаул, Иркутск) за бесснежный период 2013-2021 гг.

На этих картах изображены средние многолетние температуры за указанный период, хорошо просматриваются устойчивые зоны «аномально» высоких температур, которые соответствуют промышленным зонам, а также сети автомобильных и железных дорог.

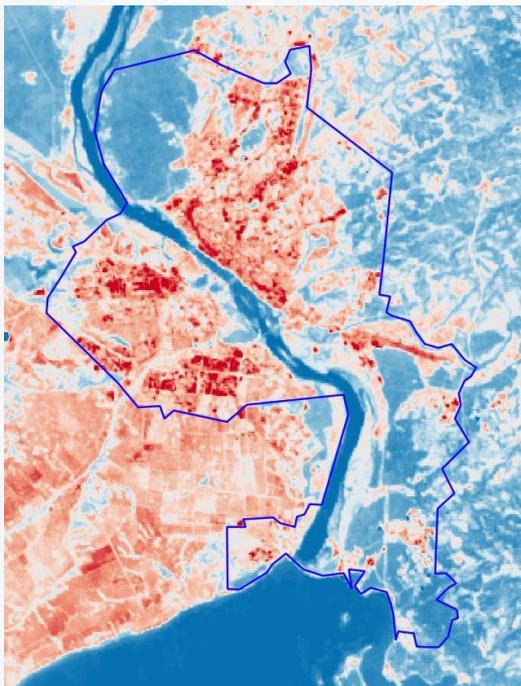
Примеры карт



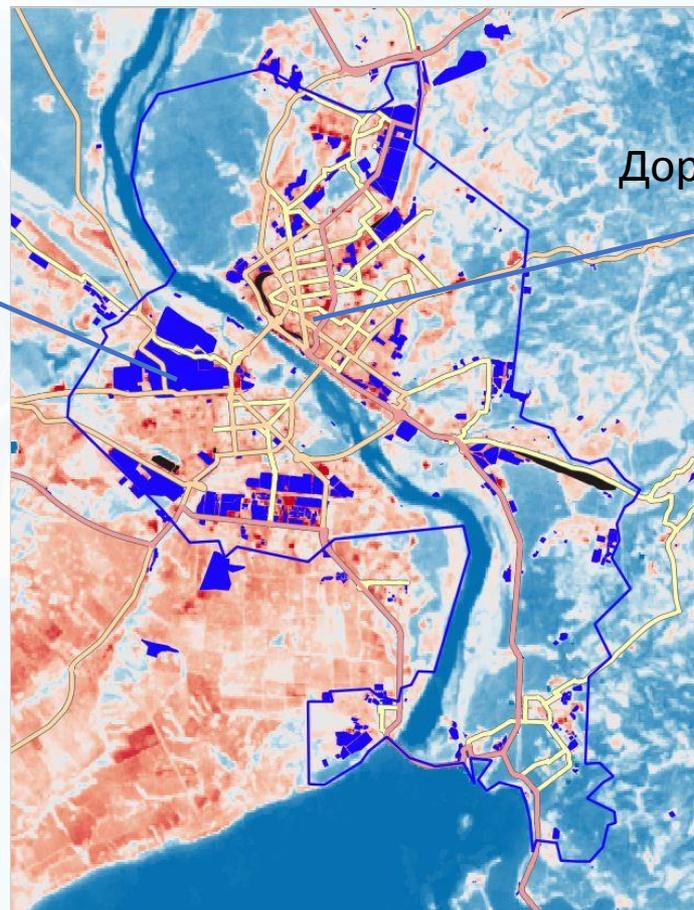
Локализация областей максимальных температур на примере г. Новосибирска

Промышленные
зоны

Дорожная сеть



Исходная карта

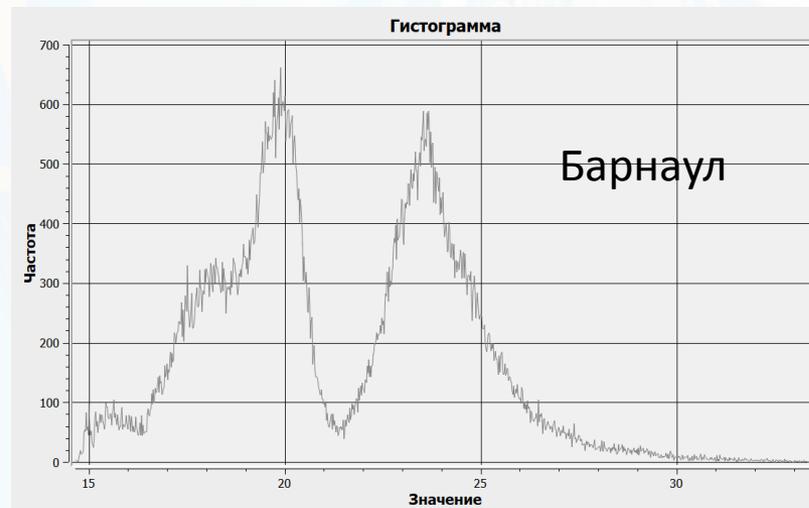
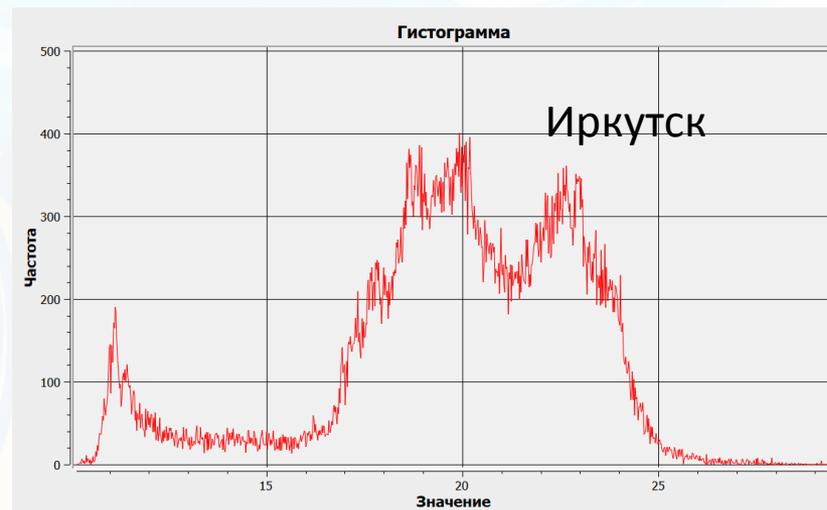
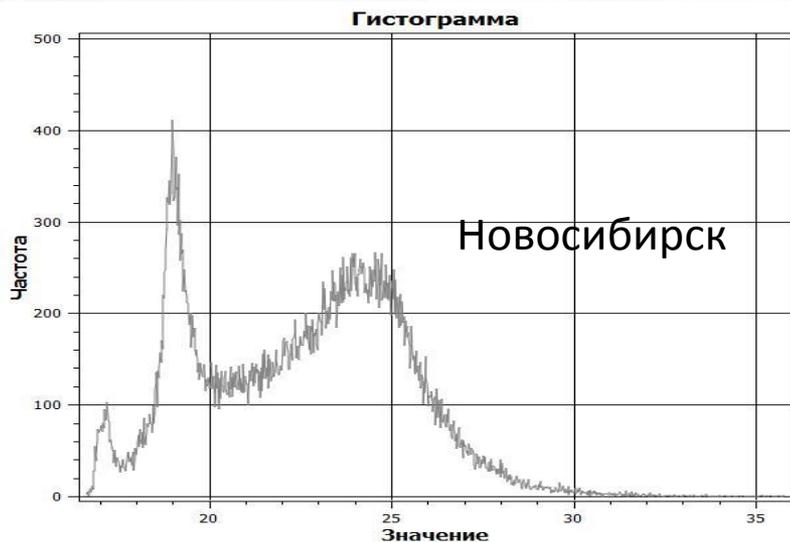


Карта с наложением
тематических слоев

Для указанных городов посчитаны основные статистические показатели (среднее, дисперсия и среднеквадратическое отклонение) и построены гистограммы распределения значений температур.

| Город | Кол-во снимков | Минимальное значение (°C) | Максимальное значение (°C) | Среднее значение (°C) | Стандартное отклонение |
|-------------|----------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------|------------------------|
| Красноярск | 143 | 8.41 | 33.23 | 21.13 | 3.30 |
| Томск | 331 | 15.19 | 29.65 | 19.69 | 1.98 |
| Барнаул | 153 | 14.33 | 34.96 | 20.72 | 2.74 |
| Иркутск | 295 | 9.92 | 32.52 | 20.08 | 3.12 |
| Новосибирск | 192 | 14.54 | 34.37 | 21.20 | 2.72 |
| Кемерово | 245 | 15.73 | 33.41 | 22.20 | 1.99 |

Примеры гистограмм распределения значений температур

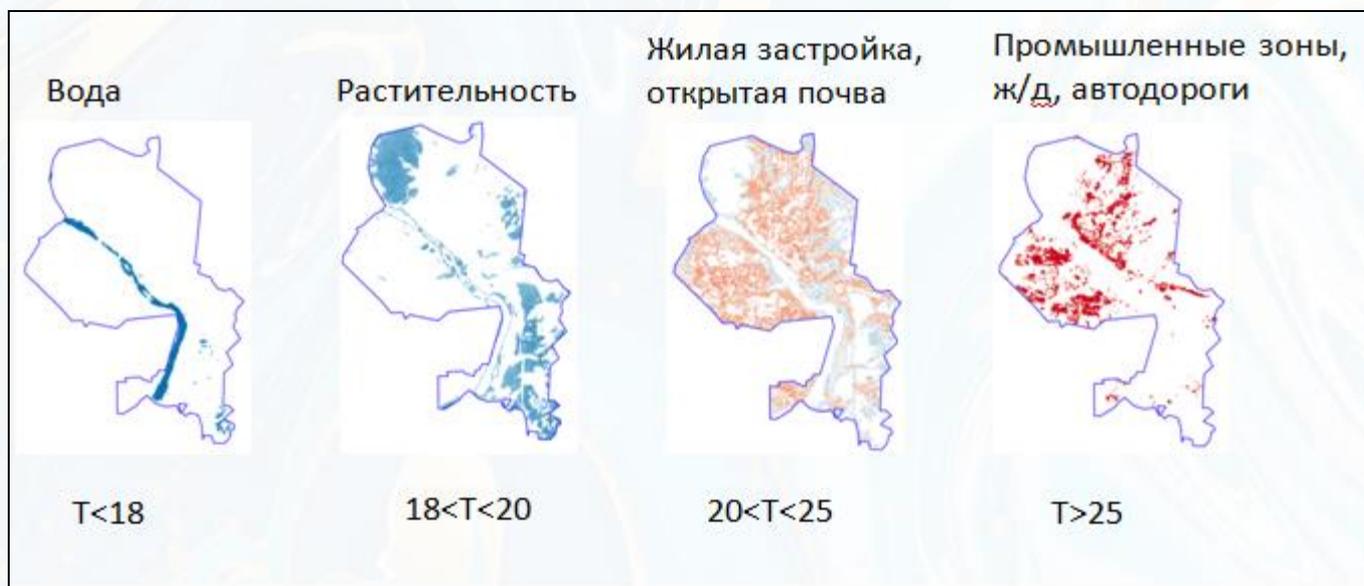


Классы и их интерпретация

Гистограммы во всех рассмотренных случаях носят вид трехмодального распределения и позволяют выделить следующие классы подстилающей поверхности:

- 1) вода,
- 2) растительность,
- 3) строения и открытая почва,
- 4) промышленные зоны, ж/д и автодороги.

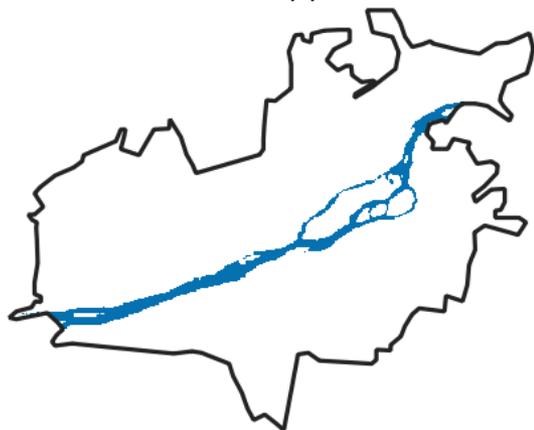
Первые три класса соответствуют трем модам распределения, а четвертый класс – это «хвост» распределения, отвечающий аномальным значениям температуры.



Пример классов для г. Новосибирска

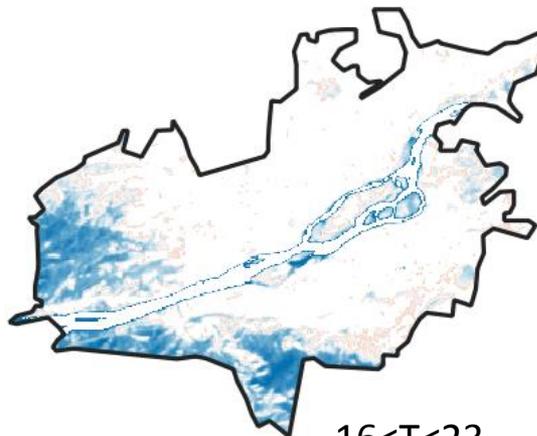
Пример классов для г. Красноярска

Вода



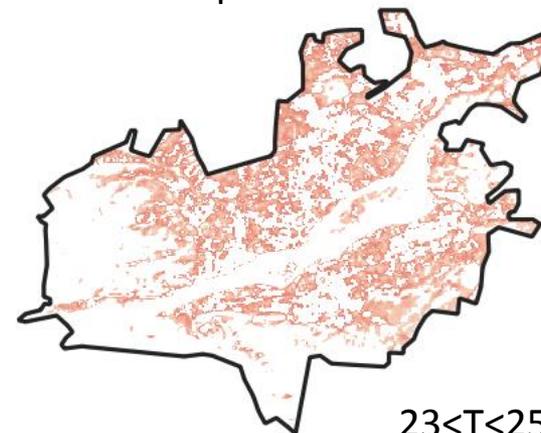
$T < 16$

Растительность



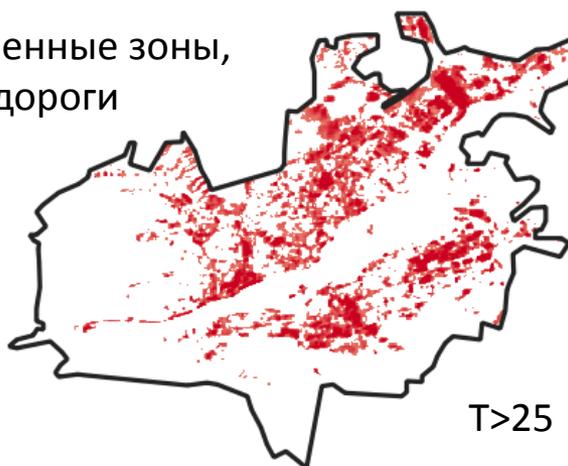
$16 < T < 23$

Жилая застройка,
открытая почва



$23 < T < 25$

Промышленные зоны,
ж/д, автодороги



$T > 25$

Результаты и выводы:

- Анализ гистограмм показал, что пороговые значения классов, как и пиковые значения мод для изучаемых городов разные. Пороговые значения различаются в пределах $1-3^{\circ}\text{C}$, что объясняется различием в климатических условиях, рельефом, плотностью застройки, разной степенью промышленного развития.
- Показано, что использование серии разновременных данных LST Landsat 8 позволяет не только построить карты распределения температур подстилающей поверхности крупных промышленных городов, но и дает возможность выявить закономерности в распределении их температурных полей, что, в свою очередь, может служить источником информации при оценке промышленного развития городов, степени урбанизации и экологического состояния территории. Кроме этого, величина LST Landsat 8 может быть использована в качестве дополнительного информативного признака при классификации городских территорий.

Спасибо за внимание!