

ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРОДСКОГО ОСТРОВА ТЕПЛА НАД КРАСНОЯРСКОМ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ LANDSAT 8

Матузко А.К., к.ф.-м.н. Якубайлик О.Э.

Институт вычислительного моделирования СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск
Сибирский федеральный университет, Красноярск

Введение

Проблема городских островов тепла характерна для всех крупных городов мира.

Красноярск – город с населением более миллиона человек и крайне неблагоприятной экологической обстановкой, входящий в число самых загрязненных городов России. Анализ и моделирование загрязнения атмосферного воздуха осложняется рядом факторов – значительной неравномерностью рельефа в пределах города, температурным режимом разрезающей город пополам реки Енисей, который обусловлен расположенной в 40 км от города Красноярской ГЭС.

Вода в Енисее не замерзает зимой даже при предельно низких зимних температурах -40°C и в то же время очень холодная в жаркие летние месяцы. В этом контексте методы дистанционного зондирования на основе данных ИК-диапазона приобретают особый интерес.

Определение природы и границ температурных аномалий поможет понять причины неблагоприятной экологической ситуации в городе.

Цели и задачи

Целью является определение островов тепла в городе Красноярске используя данные дистанционного зондирования земли.

Задачи:

- Определить температуру поверхности Земли в окрестностях города Красноярск для построения статистических температурных поверхностей. На основе полученных данных сформировать температурные карты города Красноярска и его окрестностей;
- Провести сравнительный анализ полученной температуры поверхности по спутниковым данным Landsat, и температуры воздуха, полученной по данным от наземных постов наблюдения;
- Сформировать острова тепла с аномальными характеристиками на основании спутниковых данных Landsat.

Космические системы тепловой съемки

| Название системы | Космический аппарат | Страна | Время действия, годы | Пространственное разрешение, м |
|------------------|---------------------|--------------|----------------------|--------------------------------|
| TIROS 1-10 | TIROS | США | 1960 - 1965 | 8000 |
| Метеор | Метеор | СССР, Россия | 1967 - 2002 | 17000 |
| AVHRR | NOAA | США | с 1970 | 6000 |
| MSS | Landsat-3 | США | 1978 - 1983 | 240 |
| TM | Landsat-5 | США | 1984 - 2011 | 120 |
| ASTER | Terra | США | с 1999 | 90 |
| MODIS | Terra, Aqua | США | с 1999 | 1000 |
| ETM+ | Landsat-7 | США | с 1999 | 60 |
| TIRS | Landsat-8 | США | с февраля 2013 | 100 |

Актуальные космические системы тепловой съемки

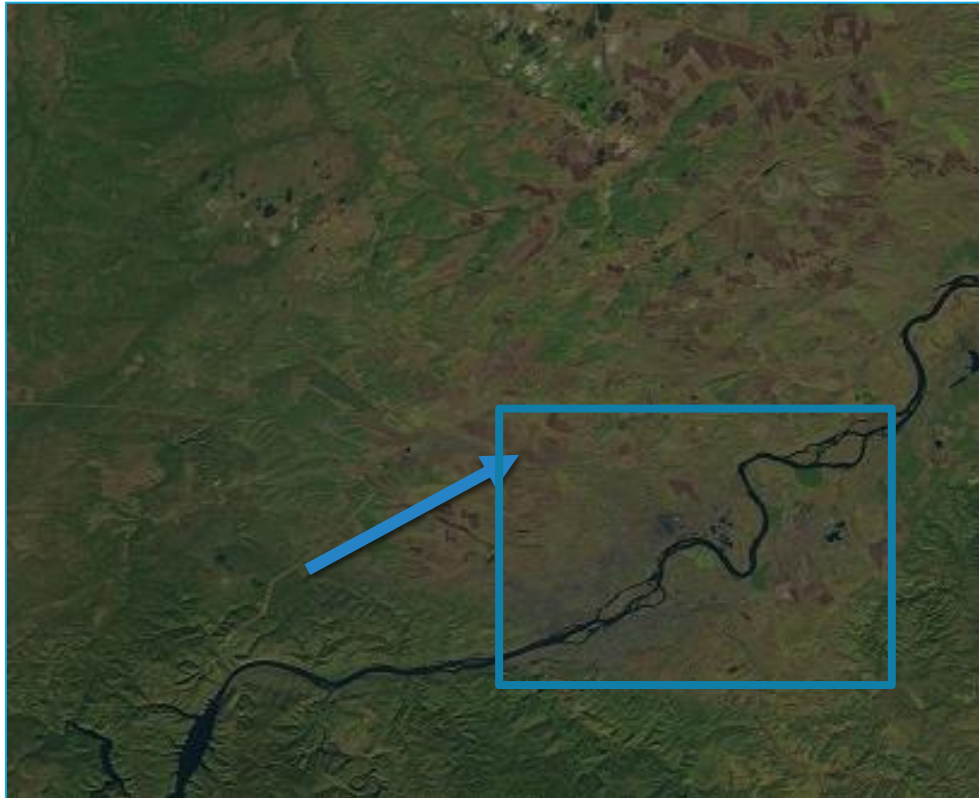
TERRA/AQUA MODIS

- ежедневная съемка;
- пространственное разрешение 1000 м;
- готовый продукт MOD11 - температура и излучательная (эмиссионная) способность земной поверхности. Продукт состоит из LST, оценки качества, времени наблюдения, углов обзора и коэффициентов излучения.

LANDSAT 8

- один раз в 16 суток;
- пространственное разрешение 100 м;
- Thermal InfraRed Sensor (TIRS) – каналы 10-й и 11-й;
- необходимость дополнительных вычислений для получения LST.

Исходные данные Landsat 8



Спутниковые снимки города Красноярска и его окрестностей

| | |
|--------------|--------------|
| • 07.10.2016 | • 28.05.2017 |
| • 05.09.2016 | • 20.06.2017 |
| • 10.06.2016 | • 29.06.2017 |
| • 23.04.2016 | • 22.07.2017 |
| • 17.07.2015 | • 07.08.2017 |
| • 01.07.2015 | • 07.07.2017 |
| • 08.06.2015 | • 18.06.2013 |
| • 14.05.2015 | |

Исходные данные Landsat 7



Спутниковые снимки города Красноярска и его окрестностей

| | |
|--------|------------|
| 2015 – | 11 снимков |
| 2014 – | 9 снимков |
| 2013 – | 6 снимков |
| 2012 – | 12 снимков |
| 2011 – | 7 снимков |
| 2010 – | 6 снимков |
| 2009 – | 9 снимков |
| 2008 – | 6 снимков |
| 2007 – | 2 снимка |

Температура поверхности земли - land surface temperature - LST

LST

T_b – температура спектральной яркости излучения (К);

λ – длина волны света, Landsat8 для 10 канала $\lambda=10.8\mu\text{m}$;

$$c_2 = h \cdot c / k = 1.4388 \cdot 10^{-2} \text{m K} = 14388 \mu\text{m K}$$

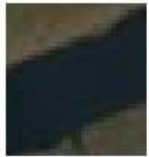
c_2 – вторая радиационная постоянная;

e – коэффициент эмиссии.

Определение коэффициент эмиссии

Классификация с обучением

Значение коэффициента эмиссии



Вода = 0,98



Почва = 0,93
(открытая почва)



Растительность = 0,98



Строения = 0,94

Определение на основе NDVI

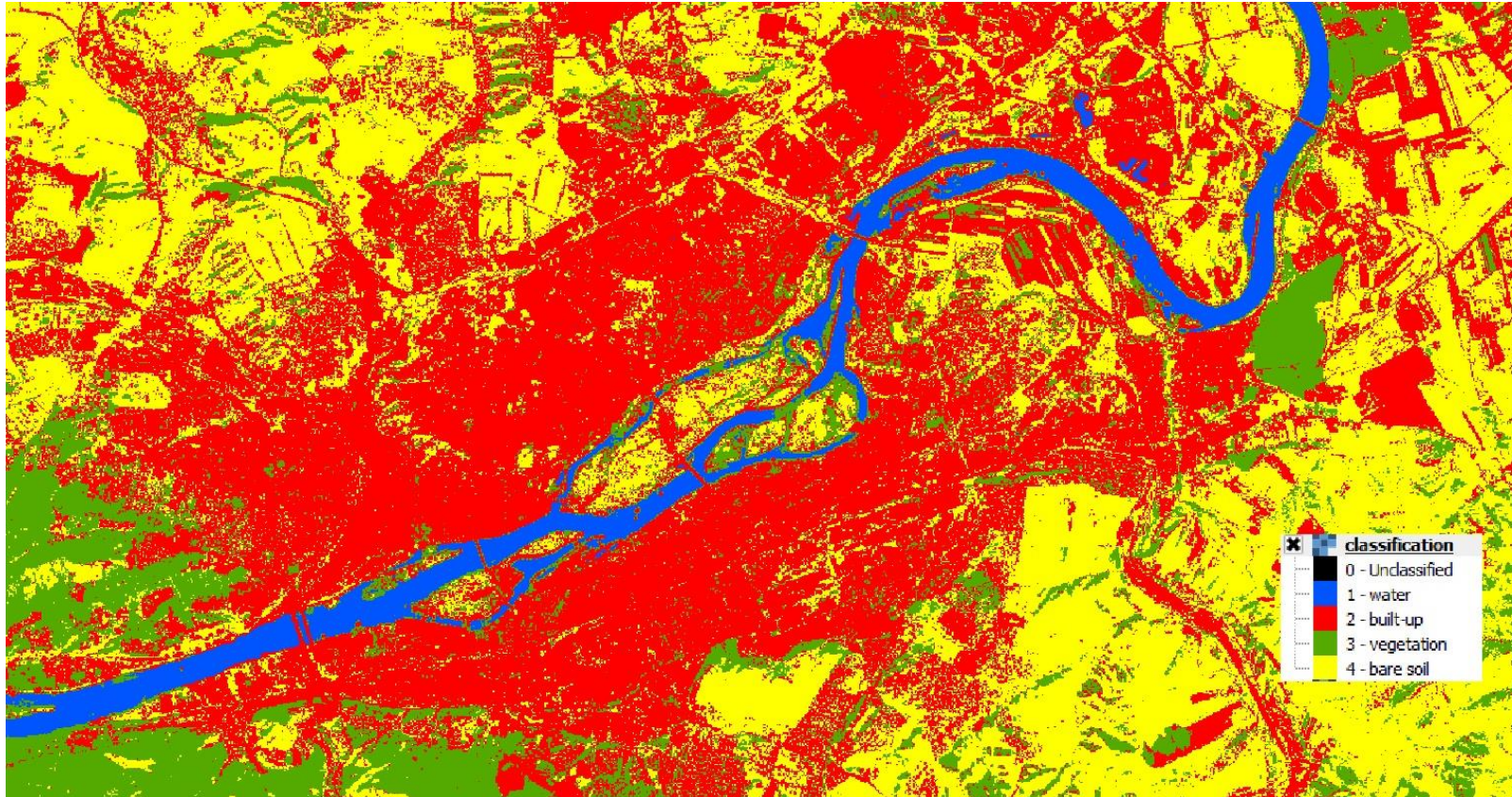
$$\varepsilon = a + b \cdot \ln(\text{NDVI})$$

где $a = 1,0094$ и $b = 0,04$, значения получены регрессионным анализом

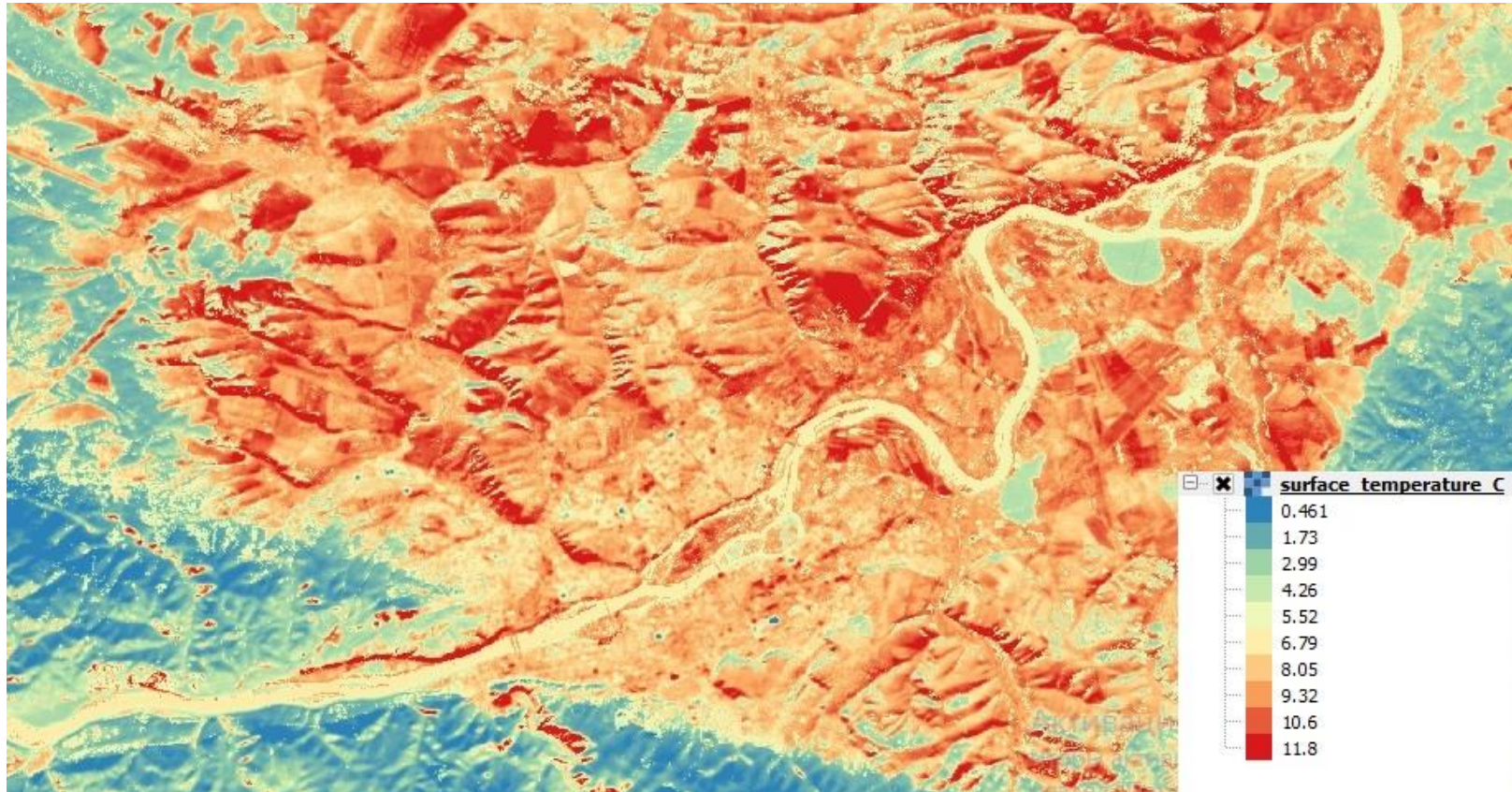
$$\text{NDVI} = \frac{\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{RED}}}{\rho_{\text{NIR}} + \rho_{\text{RED}}}$$

где ρ_{NIR} - отражение в ближней инфракрасной области спектра и ρ_{RED} - отражение в красной области спектра

Пример изображения после классификации



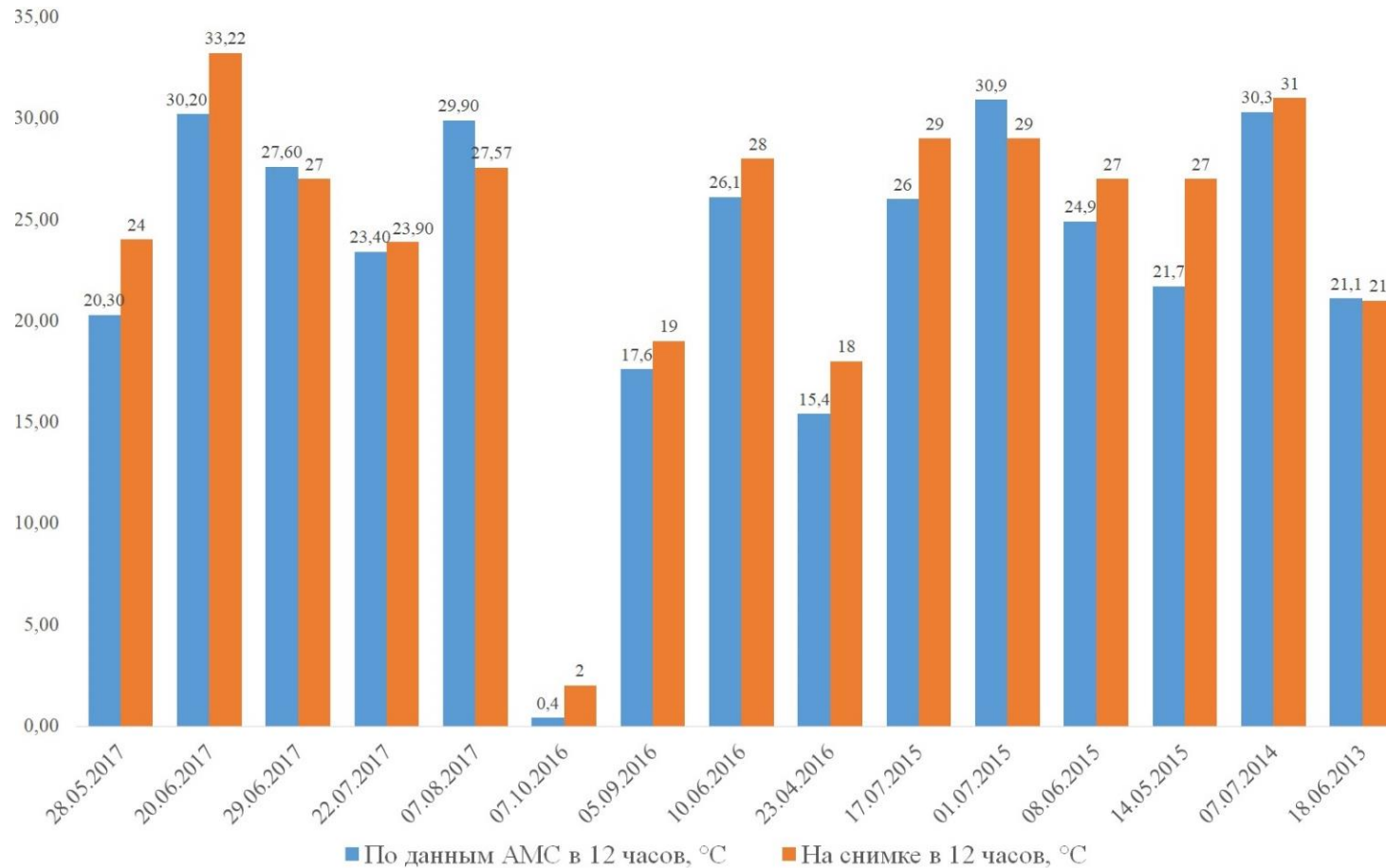
Температурная карта г. Красноярск 07.10.2016



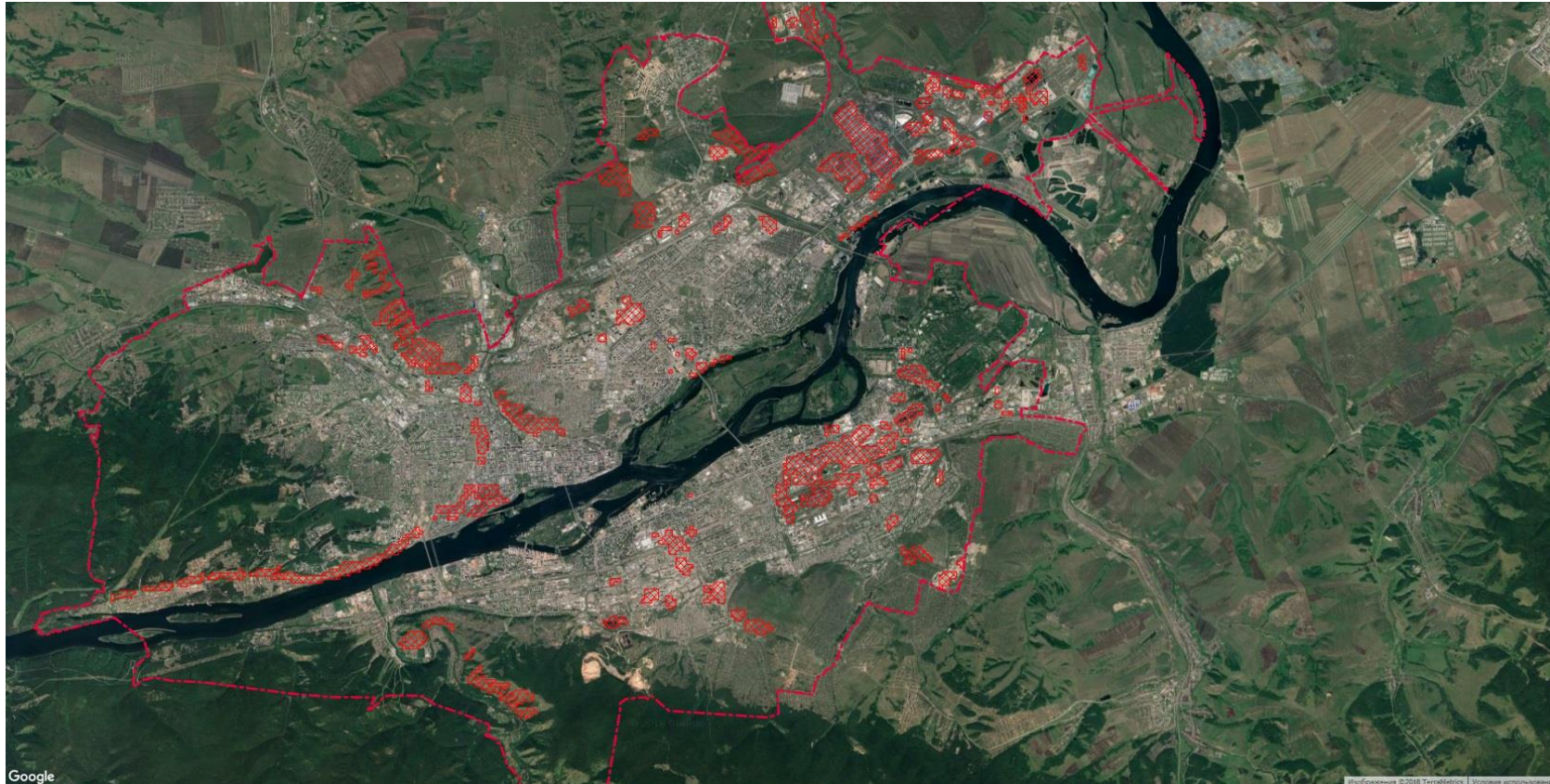
Сводная таблица измерений температуры

| Дата | По данным АМС в 12 часов, °С | | | На снимке, °С | | |
|------------|------------------------------|--------------------|---------------|----------------|--------------------|---------------|
| | Дудинская 4 | Минусинск ая 14 | Роев Ручей | Дудинская 4 | Минусинск ая 14 | Роев Ручей |
| 28.05.2017 | 20.4 | 19 | 20.3 | 31.2 | 29.71 | 24 |
| 20.06.2017 | 28.5 | 28 | 30.2 | 31.96 | 33.44 | 33.22 |
| 29.06.2017 | 26.1 | 25 | 27.6 | 32.26 | -- | 27 |
| 22.07.2017 | 22.4 | 22 | 23.4 | 24.59 | -- | 23.9 |
| 07.08.2017 | 29.5 | 29 | 29.9 | 31 | 30 | 27.57 |
| 07.10.2016 | 5,4 | 3 | 0,4 | 7 | 3 | 2 |
| 05.09.2016 | 16,3 | 15 | 17,6 | 22 | 19 | 19 |
| 10.06.2016 | 25 | 23,4 | 26,1 | 33 | 25 | 28 |
| 23.04.2016 | 15,1 | 12,2 | 15,4 | 22 | 19 | 18 |
| 17.07.2015 | 24,6 | 23 | 26 | 34 | 24 | 29 |
| 01.07.2015 | 30,4 | 28 | 30,9 | 34 | 29 | 29 |
| 08.06.2015 | 24 | 22,6 | 24,9 | 30 | 25 | 27 |
| 14.05.2015 | 19,8 | 18,5 | 21,7 | 25 | 24 | 27 |
| 07.07.2014 | 29,1 | 27,3 | 30,3 | 32 | 27 | 31 |
| 18.06.2013 | 29,9 | 27 | 21,1 | 33 | 34 | 21 |

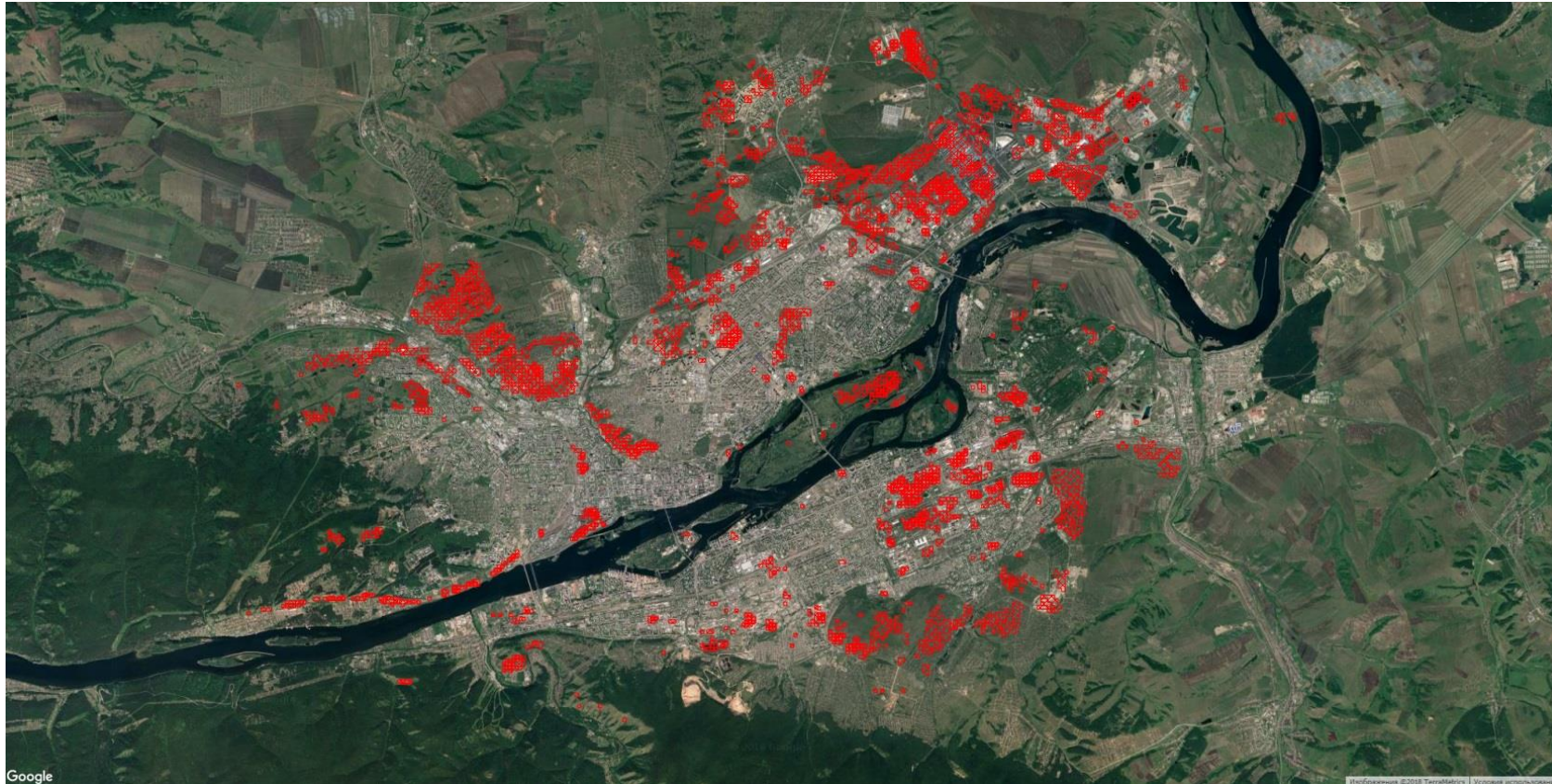
Диаграмма сравнения температур по АМС и по ДЗЗ



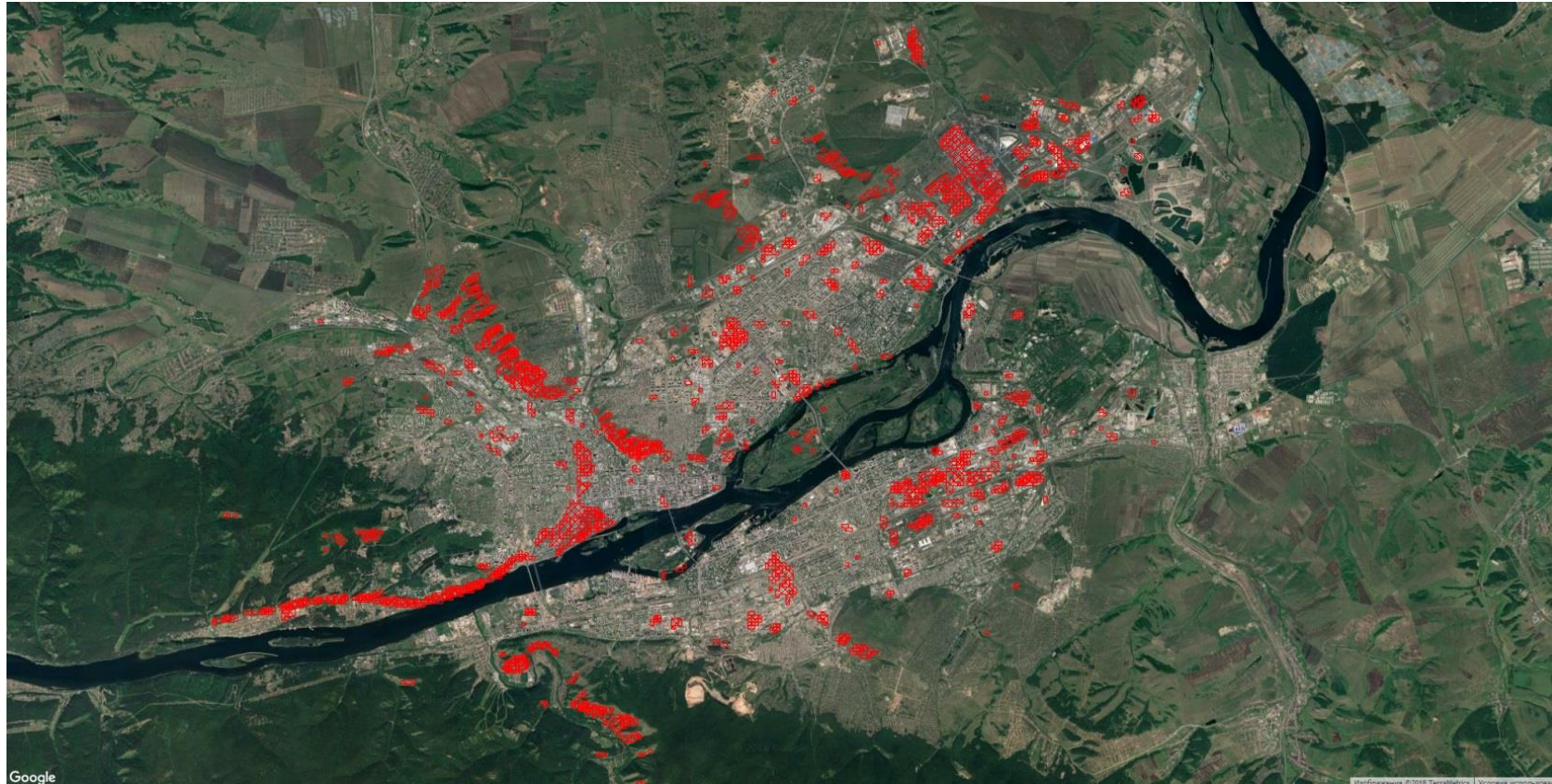
Летнее распределение максимальных температурных значений



Весеннее распределение максимальных температурных значений



Осеннее распределение максимальных температурных значений



Железнодорожный вокзал г. Красноярск

Комбайновый завод



Караульная гора

Промышленная зона г. Красноярск

Красноярский машиностроительный завод, Сибирский завод тяжелого машиностроения.



Красноярский алюминиевый завод



Советский район г. Красноярск

Гипермаркет Лента

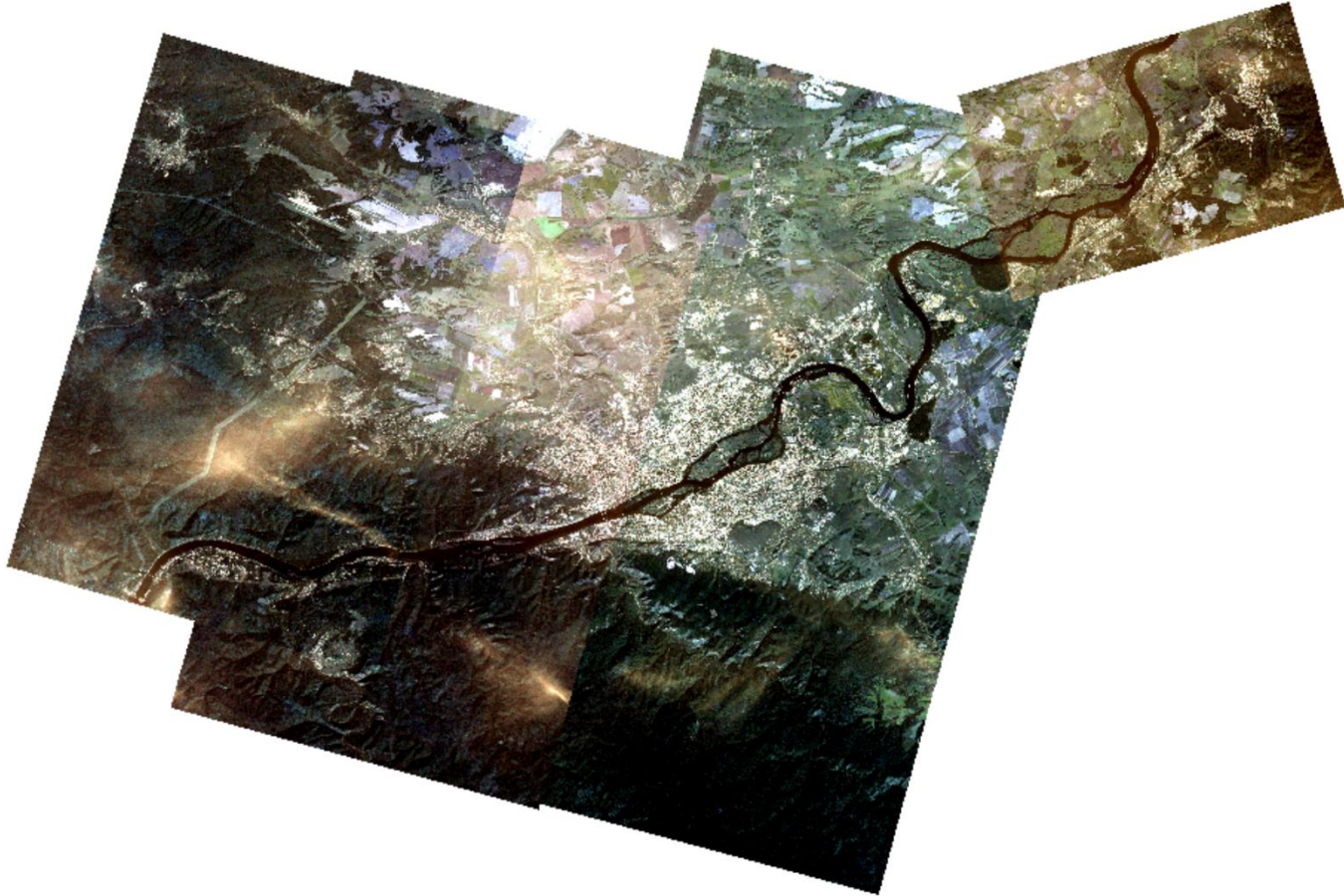
ТРЦ Планета



Автосалоны

ТРЦ Июнь

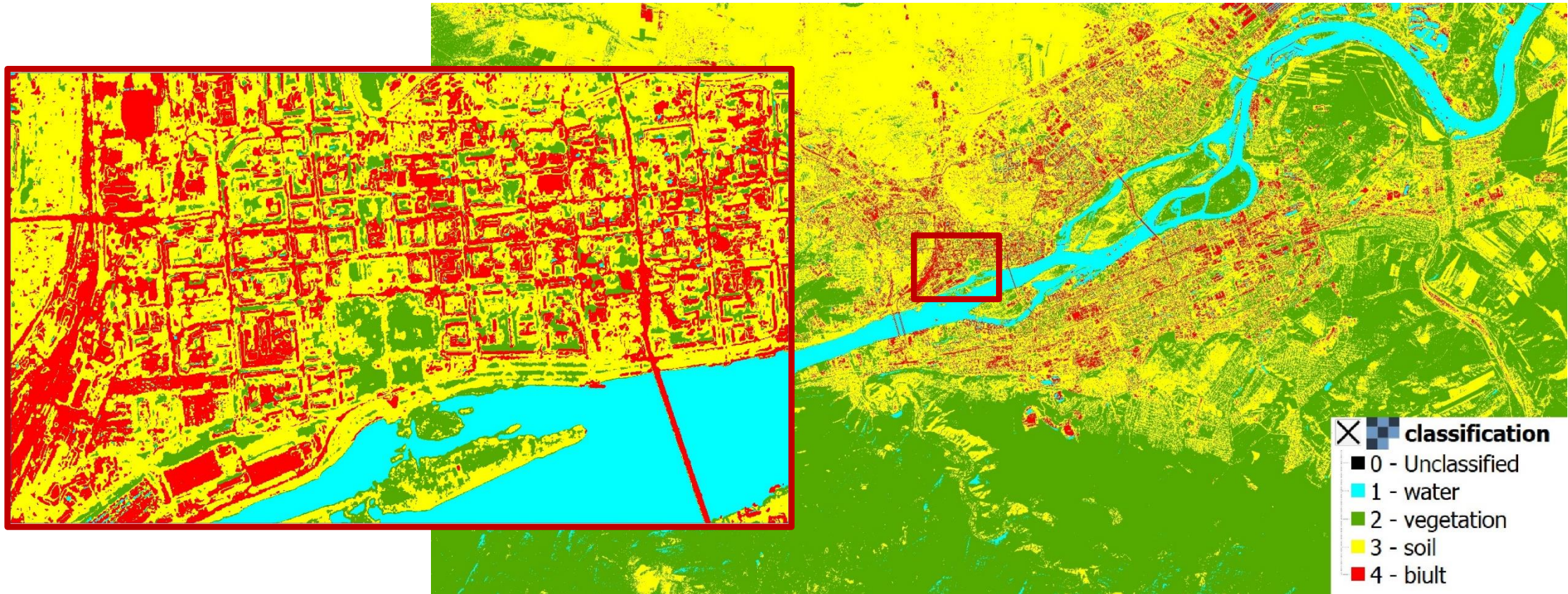
Использование данных PlanetScope



- ✓ ежедневная съемка;
- ✓ 3 meter resolution;
- ✓ 4-band: blue, green, red, near-infrared.

Источник: <https://www.planet.com/>

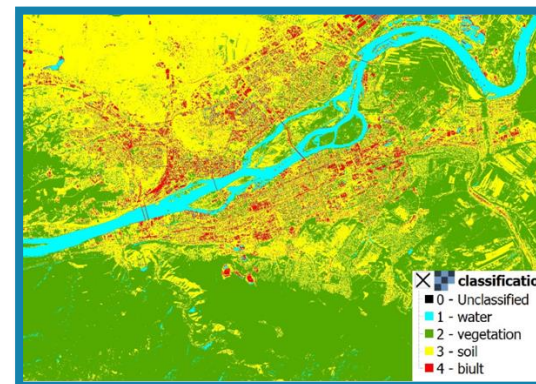
Классификация PlanetScore



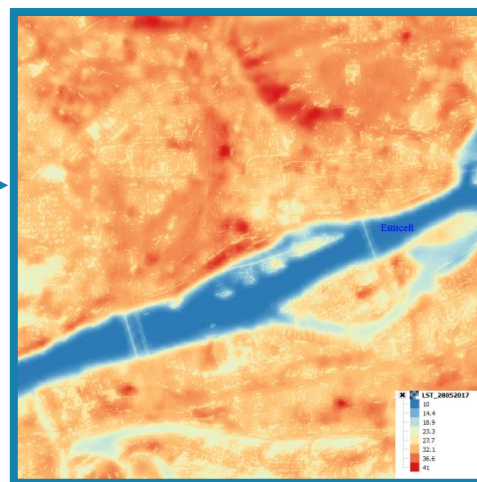
Повышение пространственного разрешения



TIRS (Thermal Infrared Sensor)
10, 11 bands Landsat 8
100 m

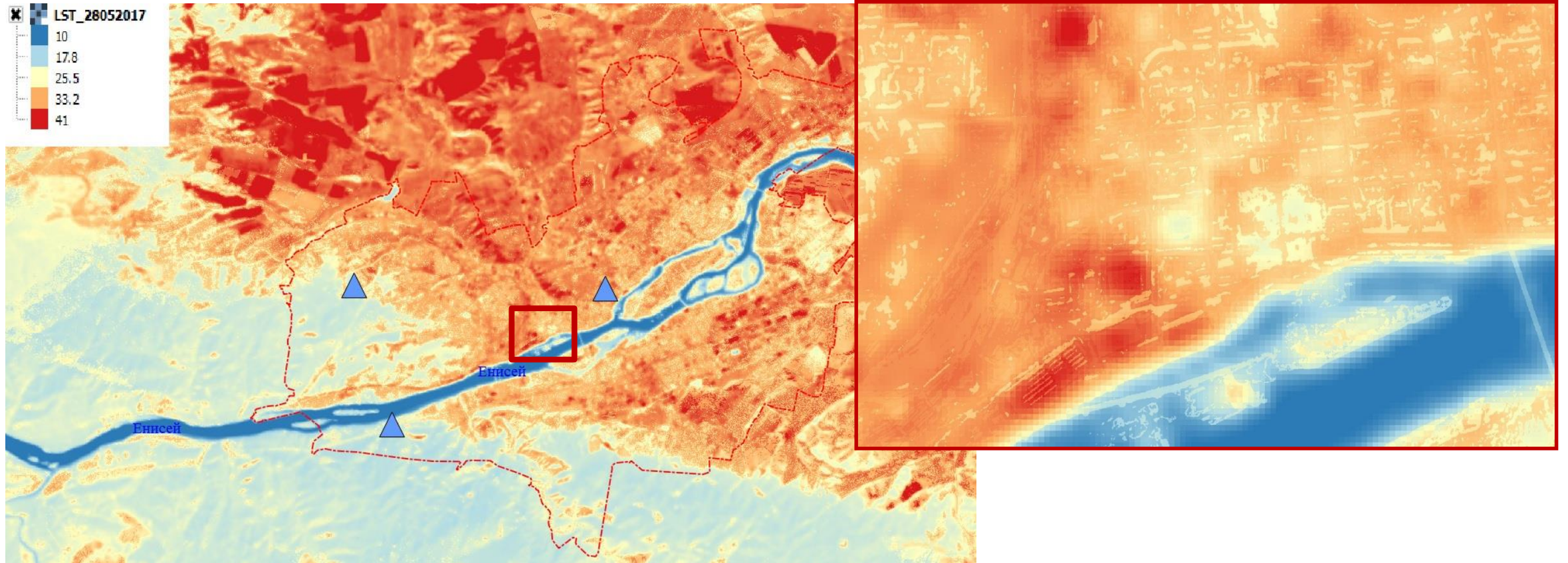


PlanetScore
Классификация
3 метра

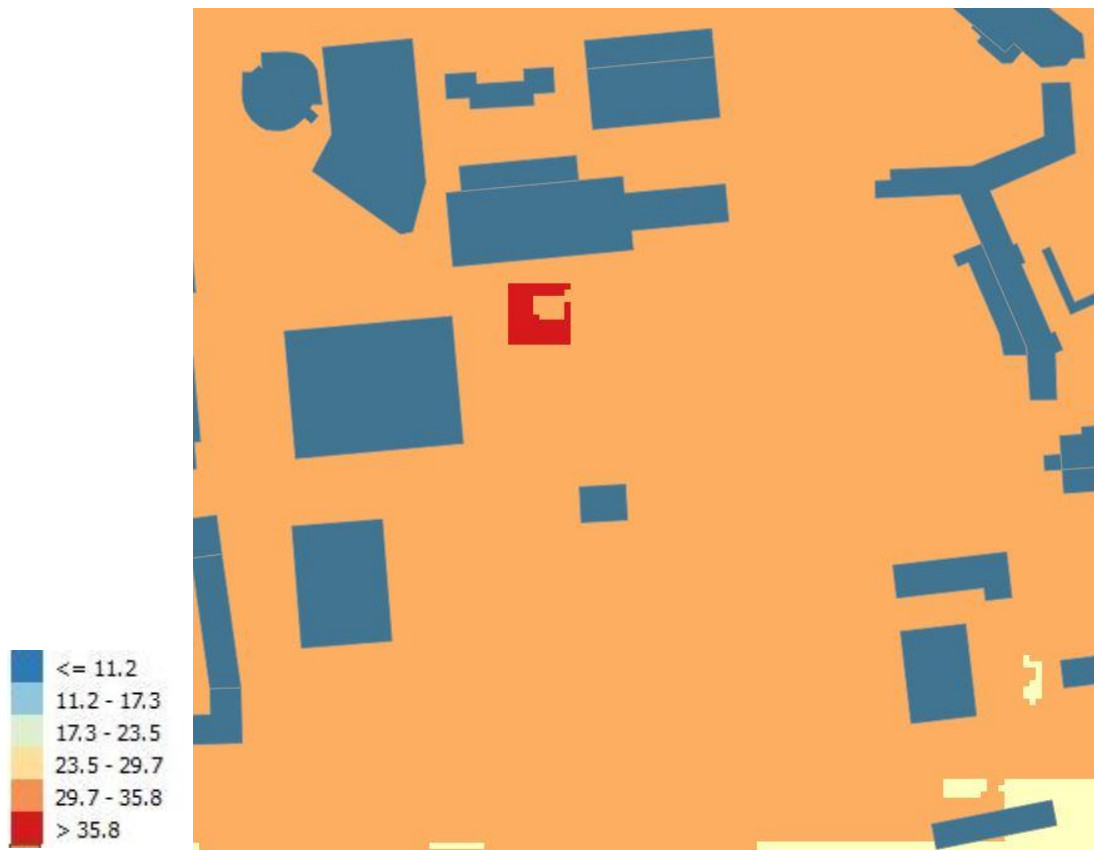


LST
3 метра

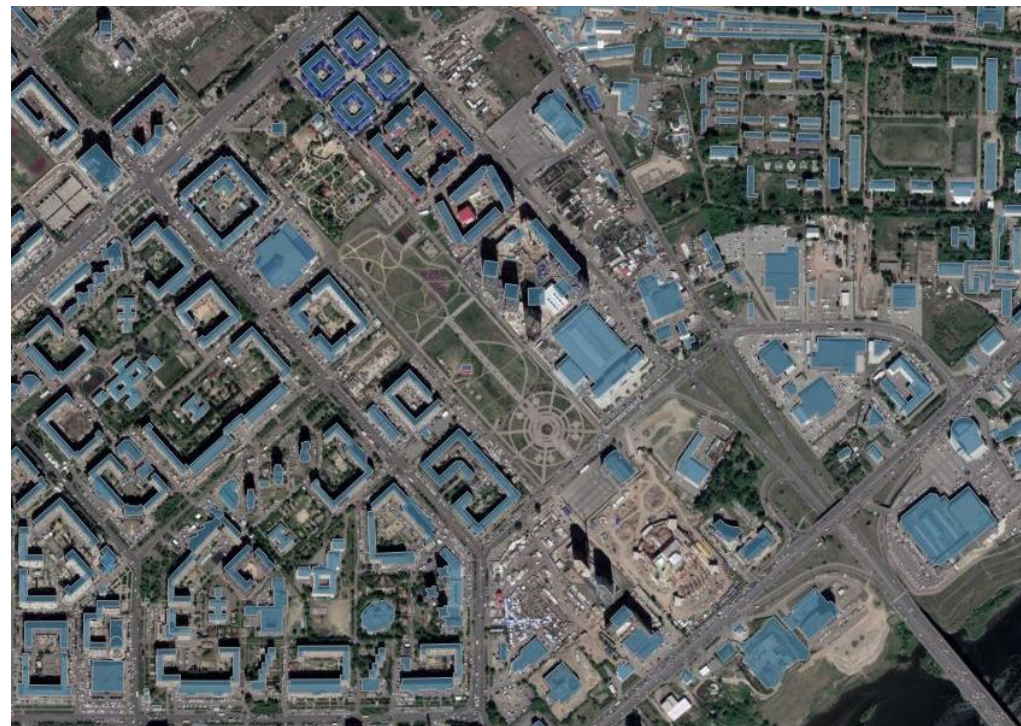
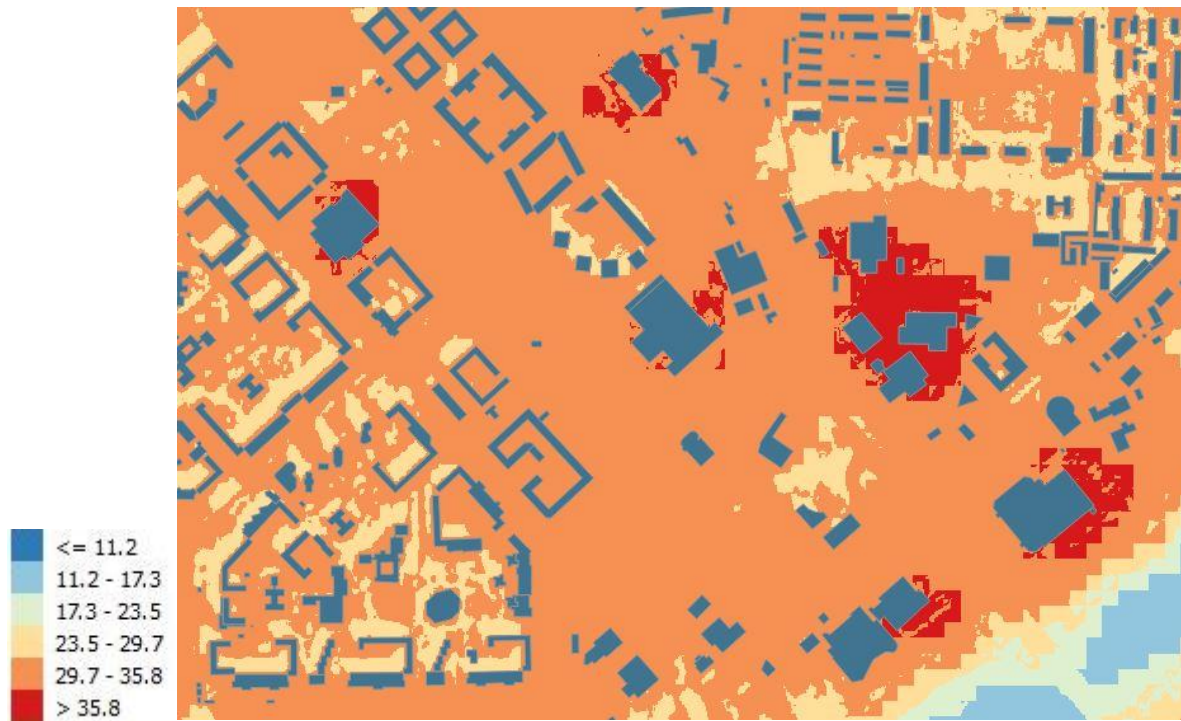
Температурная карта г. Красноярск 28.05.2017



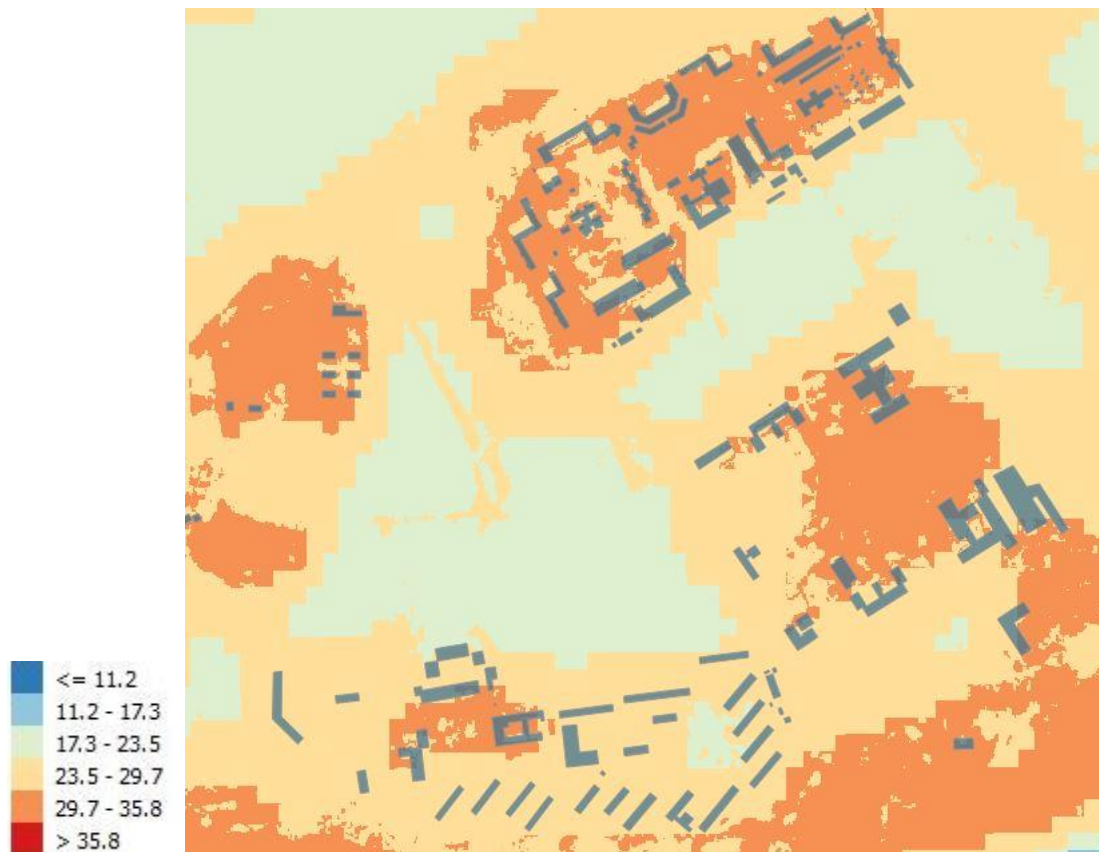
Театральная площадь



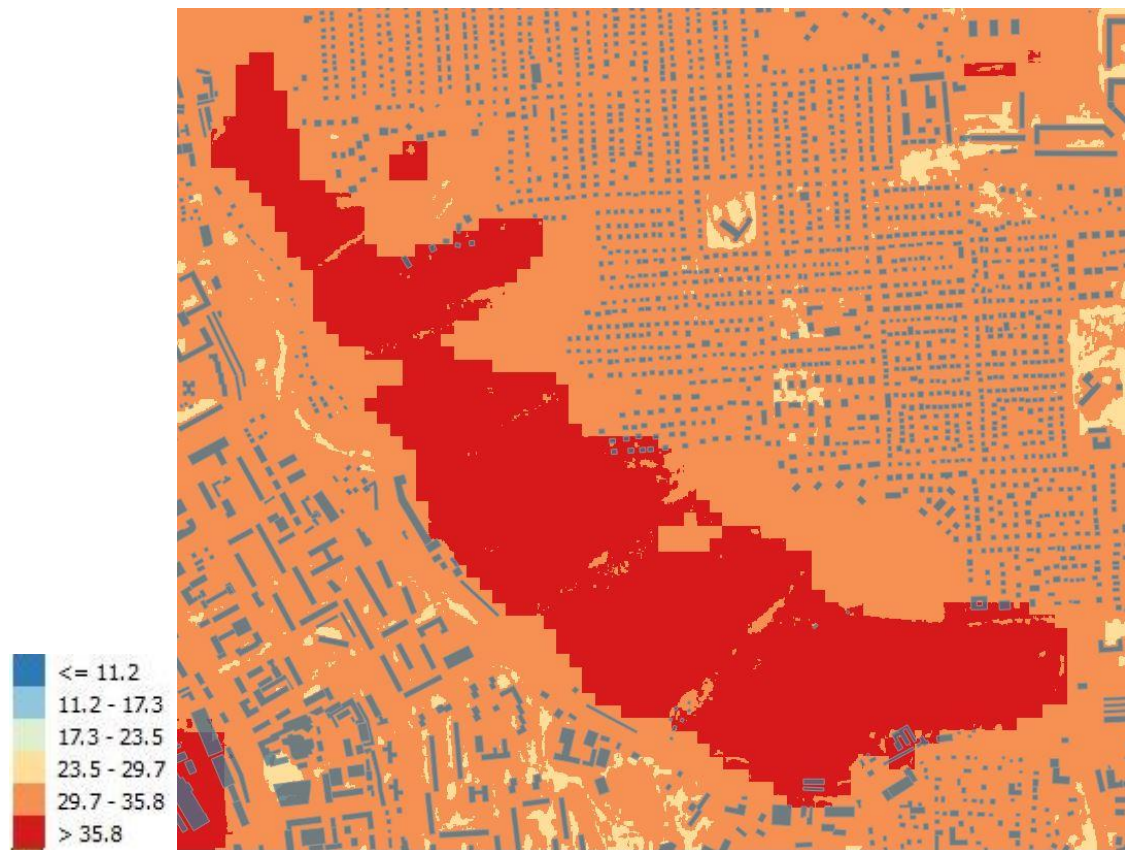
Советский район



Микрорайон Академгородок



Караульная гора



Выводы

- Сформированы температурные карты города Красноярска с пространственным разрешением 60-100 м;
- Впервые рассматривается анализ температурных островов тепла на уровне отдельных городских строений;
- Реализован мультиспутниковый подход к построению температурных карт городской территории используя данные Landsat и PlanetScope, в результате сформированы температурные карты с разрешением 3 метра.

Спасибо за внимание!
