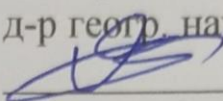


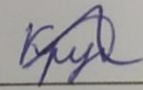
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «КубГУ»)

Институт географии, геологии, туризма и сервиса  
Кафедра геоинформатики

Допустить к защите  
Заведующий кафедрой  
д-р геогр. наук, проф.  
 А.В. Погорелов  
(подпись) (инициалы, фамилия)  
23.02 2020 г.

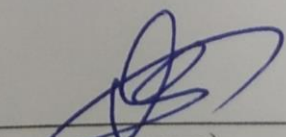
ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

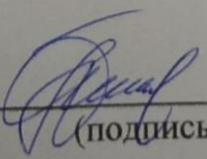
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ В ГОРОДЕ  
ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ ГОРОДОВ  
КРАСНОДАР И МАЙКОП

Работу выполнил  А.А. Круппа  
(подпись, дата) (инициалы, фамилия)

Направление подготовки 05.03.03 «Картография и геоинформатика»

Направленность (профиль) Геоинформатика

Научный руководитель  
д-р геогр. наук, профессор  А.В. Погорелов  
(подпись, дата) (инициалы, фамилия)

Нормоконтролер,  
канд. геогр. наук, доцент  А.Н. Пелина  
(подпись, дата) (инициалы, фамилия)

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1 Обзор спутниковых данных и тепловых сенсоров. Инструментальное обеспечение.....	5
2 Обзор исследовании тепловых полей городов.....	9
2.1 Российский опыт .....	9
2.2 Зарубежный опыт .....	14
3 Источники данных. Методики построения карт тепловых полей .....	19
4 Анализ тепловых полей в городе.....	28
4.1 Краснодар.....	28
4.2 Майкоп .....	38
Заключение .....	50
Список использованных источников .....	52

## ВВЕДЕНИЕ

Современные урбанизированные пространства – это огромные площади по отношению к природной среде, где происходит антропогенная трансформация структуры теплового баланса за счет увеличения загрязнения воздуха и искусственных поверхностей. Эти изменения являются фактором развития климата и определяют локальные климатические характеристики городских территорий. Одним из наиболее ярких примеров влияния урбанизации на климат является повышение приземных температур воздуха, которая получила на практике в городской климатологии название «остров тепла».

В результате увеличения доли населения, проживающего в городах, характеристики городского климата будут актуальны для экологического развития окружающей среды при оценке перспектив жизни в городских районах.

Дискомфорт тепла снижает качество жизни и здоровье населения, тем самым усиливая влияние других неблагоприятных факторов окружающей среды.

Влияние городских условий на местный климат в условиях России до настоящего времени изучено недостаточно, при том, что теоретическая база городской климатологии еще в советские времена имела хорошее физическое обоснование. О городском климате на юге России, в отличие от полярных городов и городов средних широт, известно очень мало. С развитием космических технологий съемки и повышением доступности спутниковых снимков для решения экологических и климатологических задач дистанционные исследования состояния городских территории вышли на новый уровень информационного обеспечения.

В качестве объектов анализа были выбраны две территории городов Краснодар и Майкоп. При выборе городов учитывались их фактические размеры и проявления антропогенной деятельности, то есть в теории – масштаб

возникновения тепловых аномалий. Таким образом, основная цель работы – на основании исследования тепловых полей городских территорий по спутниковым снимкам установить тепловые аномалии, свойственные измененным поверхностям. Подобные исследования проведены во многих странах и городах. Однако для юга России такого рода анализ практически не проводился.

В соответствии с целью были поставлены задачи:

- Изучить программное обеспечение для обработки спутниковых снимков в контексте основной цели работы.
- Скачать снимки Landsat-8 для исследуемых территории.
- Построить по снимкам поля распределения температуры.
- Проанализировать карты на предмет поиска пространственных и временных закономерностей.
- Выявить тепловые аномалий в пределах города и установить их источники.
- Провести сравнительный анализ карт температур поверхности городов Краснодара и Майкопа.

Изображения Земли в тепловом инфракрасном диапазоне стали очень ценным материалом для изучения пространственных характеристик «острова тепла». Они имеют известные особенности, которые отличают их от других данных дистанционного зондирования. Так, на них отображается плотность теплового излучения (рисунок 1), которые сложно получить иным образом. Поэтому, благодаря таким снимкам, мы можем получить информацию об антропогенных объектах, которые скрыты при использовании других данных дистанционного зондирования. Тепловые снимки при использовании в разные времена года открывают путь к изучению многолетней динамики теплового излучения Земли. Огромное количество архивов позволяет изучить динамику теплового излучения всех стран и городов. Изучение «острова тепла» позволяет определить его пространственную и временную динамику, причины возникновения и влияния на городские объекты.

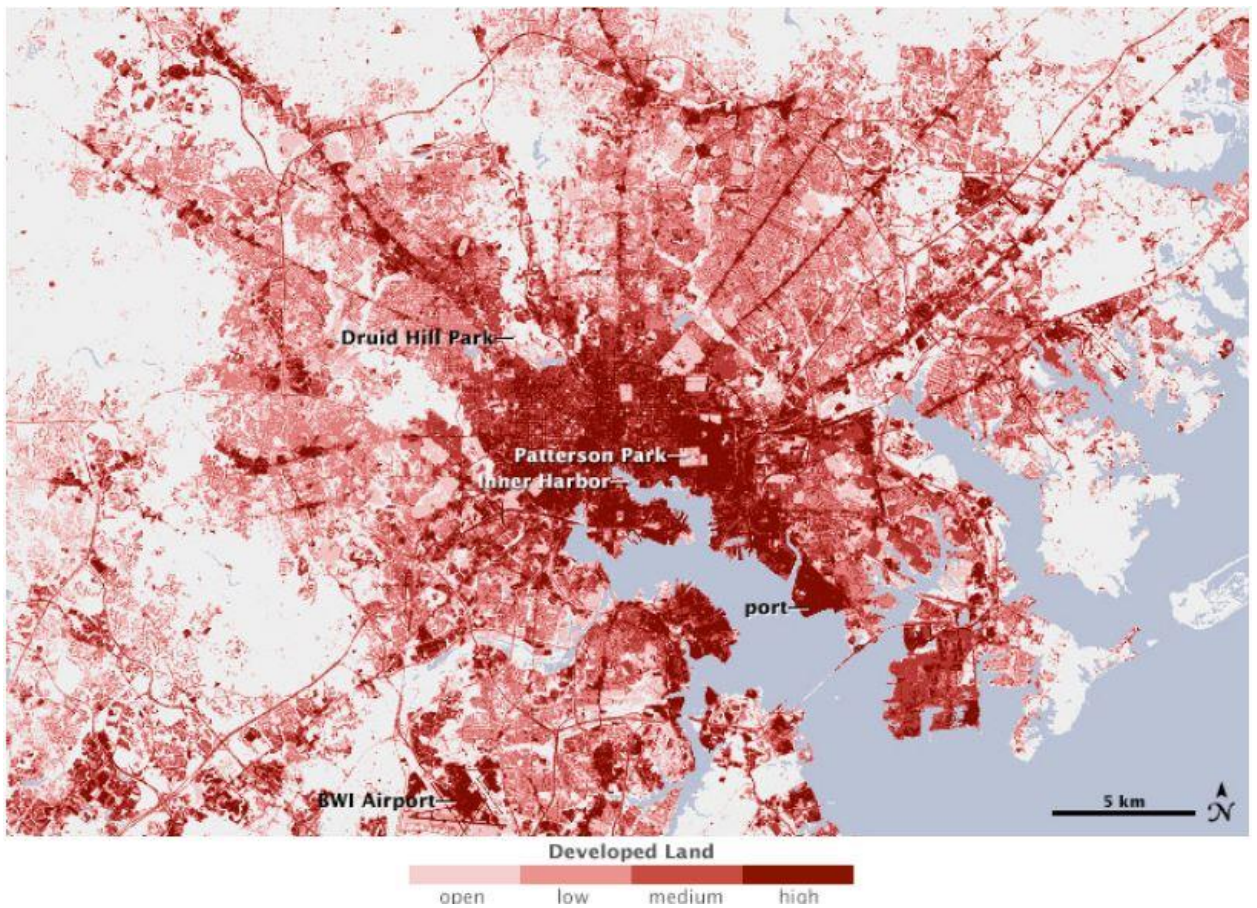


Рисунок 1 – Пример теплового излучения города Балтимор, США  
(1 августа 2001 г.) (Landsat-7) [18]

Рассмотрим спутник Landsat-8, данные которого применены для выполнения задач данной работы.

Наиболее продолжительный проект по получению со спутника снимков Земли – программа Landsat. Спутниковые данные, которые получают сейчас с Landsat-8 (рисунок 2), актуальны в настоящее время.

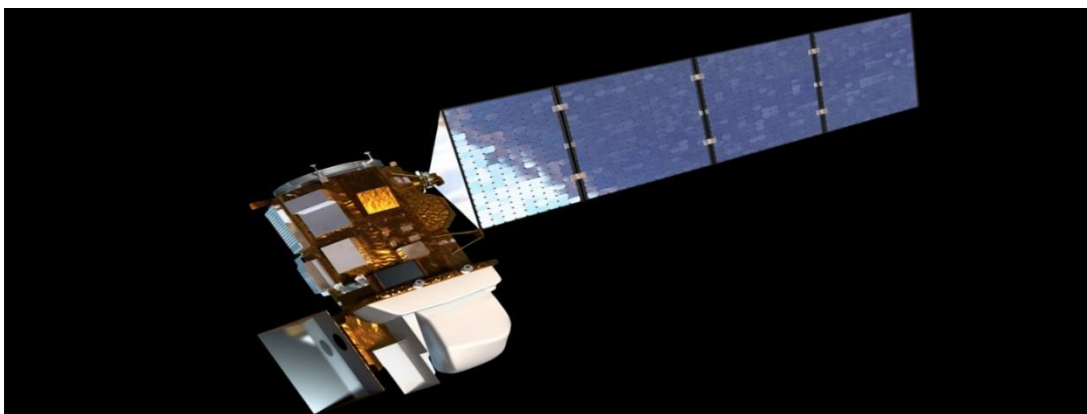


Рисунок 2 – Спутник Landsat-8 [4]

Landsat-8 производит съемку в 11 спектральных диапазонах:

- 1 канал – побережье и аэрозоли. Разрешение (м.) – 30;
- 2 канал – синий. Разрешение (м.) – 30;
- 3 канал – зеленый. Разрешение (м.) – 30;
- 4 канал – красный. Разрешение (м.) – 30;
- 5 канал – ближний ИК. Разрешение (м.) – 30;
- 6 канал – ближний ИК. Разрешение (м.) – 30;
- 7 канал – ближний ИК. Разрешение (м.) – 30;
- 8 канал – панхроматический. Разрешение (м.) – 15;
- 9 канал – перистые облака. Разрешение (м.) – 30;
- 10 и 11 канал – дальнее ИК. Разрешение (м.) – 30.

На Landsat-8 установлены два инструмента:

- оперативный картограф Земли – OLI;
- тепловой ИК-сенсор – TIRS.

Основным набором инструментов на спутнике является OLI (Open Land Imager) (рисунок 3).

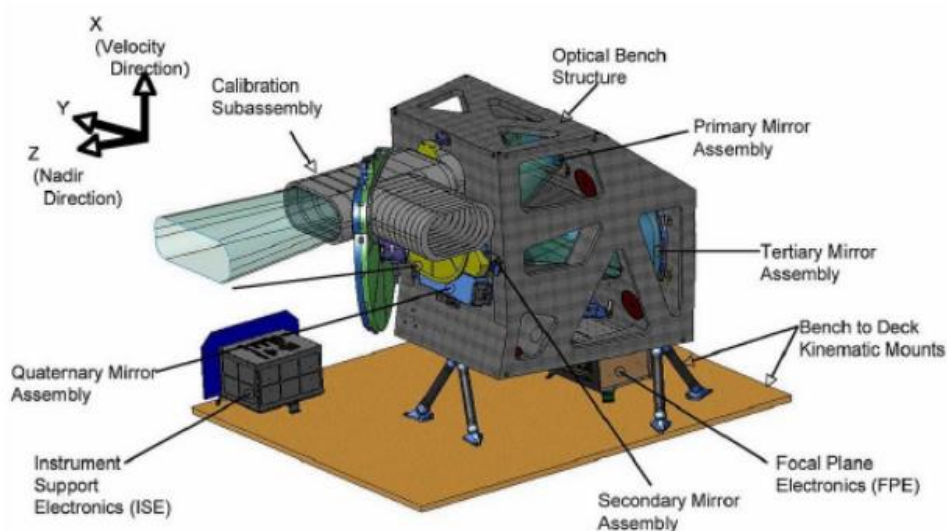


Рисунок 3 – Набор инструментов OLI [3]

Другой инструмент, который имеет определенное время работы на спутнике, TIRS (Thermal InfaRed Sensor) (рисунок 4). Получение изображения происходит в 10-м и 11-м каналах.

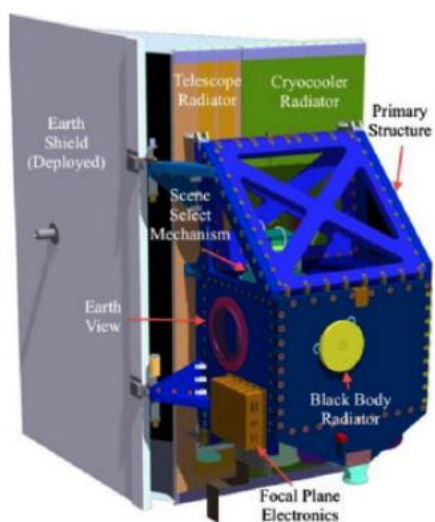


Рисунок 4 – Устройство TIRS (Thermal InfaRed Sensor) [2]



## 2 Обзор исследования тепловых полей городов

### 2.1 Российский опыт

Значительное воздействие на природную среду оказывают современные города, внутри них формируется свой особый городской местный климат. Характерной чертой микро- и мезоклимата города является формирование «теплового острова» (Urban Heat Island – UHI), увеличение температуры в городе по сравнению с окружающей его средой [15].

Антропогенные преобразования земной поверхности, есть основные причины возникновения «теплового острова». Они проявляются в плотной застройке. Естественные поверхности, активно поглощают тепловое излучение. И сокращение площадей, занятых зелеными насаждениями, приводит к изменению свойств земной поверхности и понижает суммарное испарение.

Формирование «острова тепла» приводит к неблагоприятным условиям жизни для людей. Слишком высокая летом температура и высокая влажность зимой, сильно воздействуют на здоровье человека. Это обстоятельства способствуют к подробным исследованиям данного феномена.

Английский ученый Люк Ховард открыл этот феномен в XIX веке, хотя к полному исследованию приступили во второй половине XX века. В настоящее время накоплен объем исследований. Например, изучается суточная динамика теплового поля; тепловых аномалий города с особенностями использования земель; проводится моделирование «теплового острова» города, как температур поверхности, так и температур воздуха и т.д. В российской части исследования данного феномена уделяется меньше внимания, чем в зарубежных исследованиях.

В качестве примера рассмотрим работу М.Ю. Грищенко и Л.С. Калитка. В данной статье была изучена сезонная изменчивость теплового поля Краснодара.

Краснодар один из самых крупных городов России находится в теплых климатических условиях. В связи с этим изучение теплового поля актуально.

В данной работе использованы разносезонные космические снимки Landsat-8. На основе снимков была составлена карта тепловой структуры (рисунок 5), на которой визуализированы объекты земной поверхности, вносящие различный вклад в феномен «остров тепла».

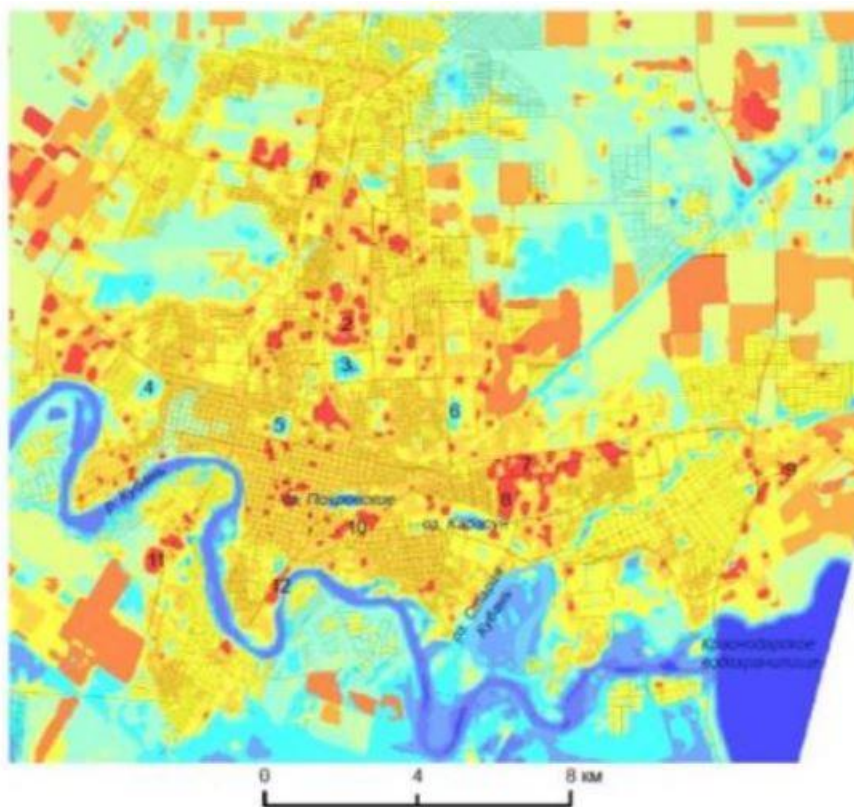


Рисунок 5 – Карта тепловой структуры поверхности г. Краснодара [5]

По данной карте (рисунок 5) даже при визуальном анализе можно сделать вывод, что на тепловое поле Краснодара существенным образом влияют промышленные зоны и большие по площади городские застройки с активным поглощением и излучением тепла.

Рассмотрим работу, выполненную на географическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова.

Москва – быстро растущий мегаполис. Развитие города приводит к экологическим проблемам, которые требуют исследования. Интенсивность теплового поля возрастает и становится все более ощутимо, поэтому также проблема становится актуальна.

Объем городскими объектами, выделяемого тепла дает возможность говорить о тепловом загрязнении и дает возможность говорить о тепловых аномалии в Москве (рисунок 6) [8].

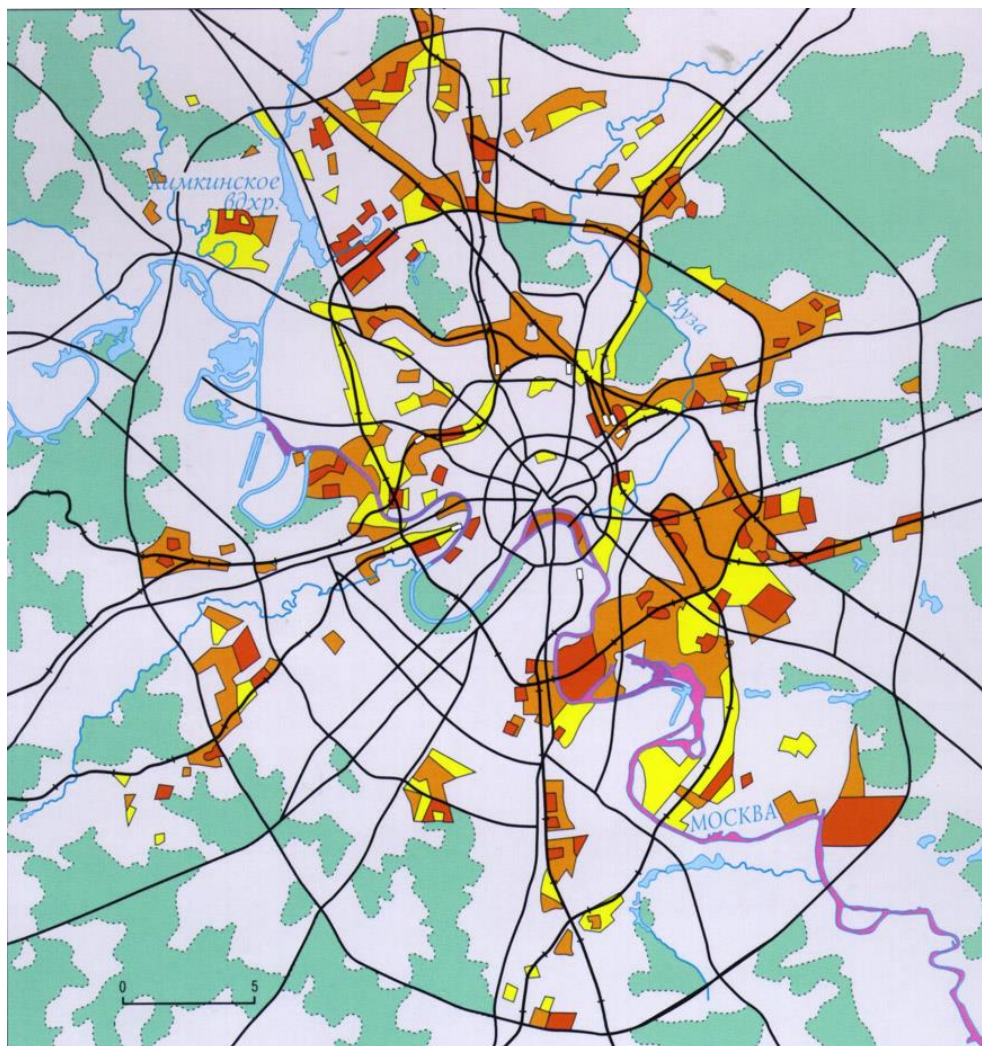


Рисунок 6 – Схема «теплового загрязнения» в Москве [9]

Основными источниками теплового излучения является автотранспорт и плотная застройка.

Снимок Landsat TM за 8 октября 1991 г. был получен в 08:56 по московскому времени (рисунок 7).

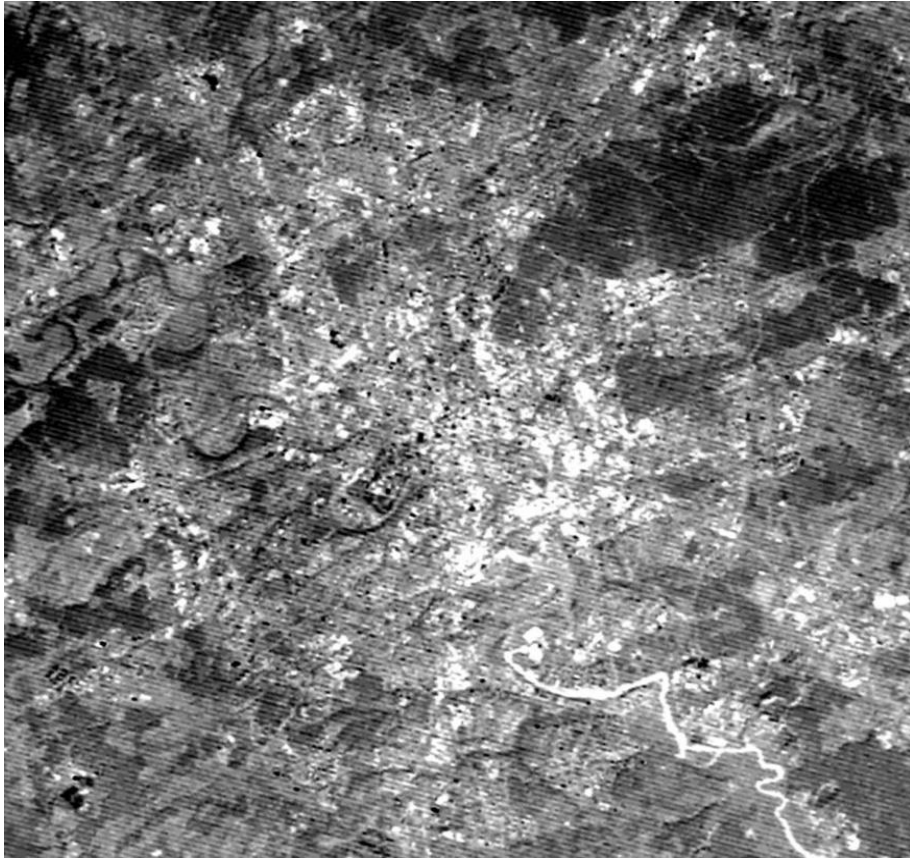


Рисунок 7 – Фрагмент теплового инфракрасного снимка Landsat-5 за 8 октября 1991 г. [8]

По полученному снимку была создана карта (рисунок 8) тепловых аномалий территории Москвы [1].

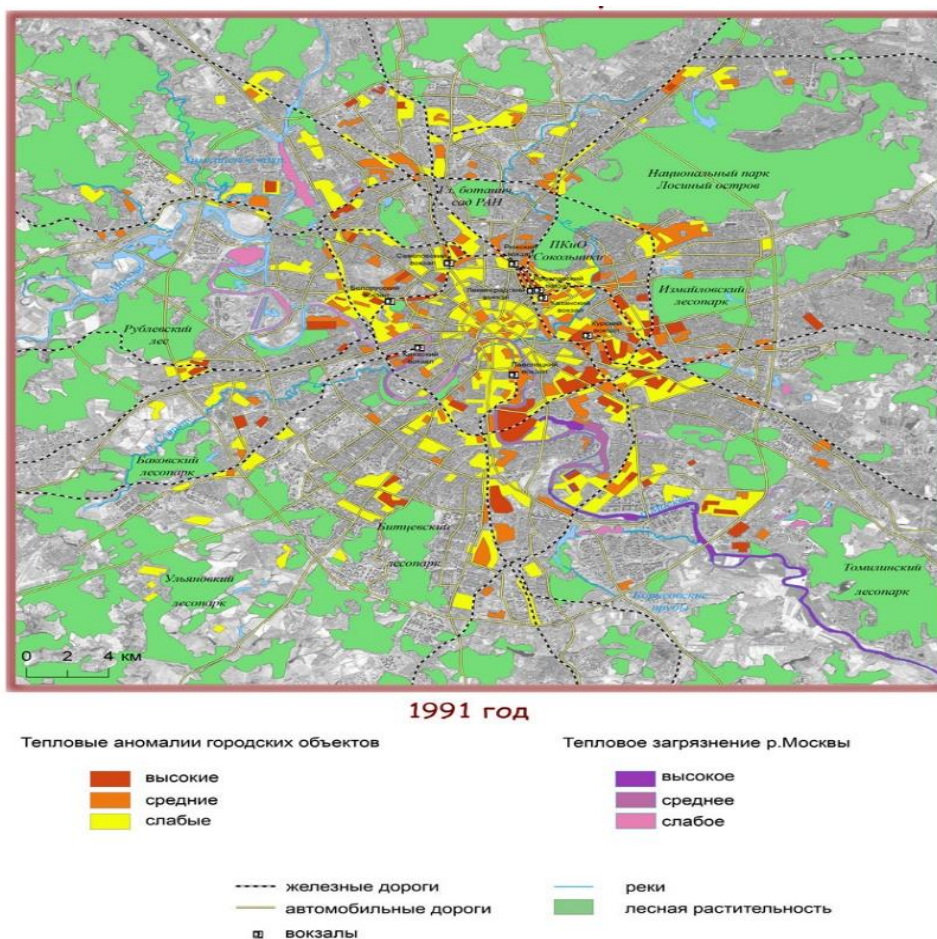


Рисунок 8 – Карта тепловых аномалий Москвы в 1991 г. [1]

По данной карте (рисунок 8) можно сделать вывод, что в области (классе) с высокими положительными тепловыми аномалиями оказались все промышленные предприятия и основные вокзалы Москвы.

Самой интересной работой, по-моему, мнению, считается «Картографирование островов тепла городов Заполярья по совмещенным данным полевым измерений и космических снимков на примере г. Апатиты (Мурманская область)» [7]. Авторы работы: Константинов П. И., Грищенко М.Ю., Варенцов М. И.

Интерес в данной работе заключается в том , что экспериментальные данные о тепловой структуре города зимой сравнивались с данными о температуре поверхности, полученными из спутниковых снимков в тепловом инфракрасном диапазоне.

Город находится в равнинном месте, высокая плотность застройки, низкая зимняя температура, что определяет высокие энергозатраты на отопление, поэтому это одно из лучших мест для изучения влияния термального острова на полярные города.

Впервые для города за Полярным кругом была проведена оценка поверхностного теплового острова города (SUHI) и классического теплового острова (UHI). Разница между температурой поверхности и температурой воздуха достигает 4 – 5 °С [7].

## 2.2 Зарубежный опыт

Из множества зарубежных работ в исследовании теплового поля я выбрал статью Фрэнка Ван дер Хоф и Александра Вандл [13], анализировавших термическую аномалию, названную ими «Хоттердам». В июле 2006 г. две последовательные тепловые волны поразили город Роттердам. Этот месяц вошел в историю как самый жаркий месяц в Голландии. Ни в каком другом году не был зафиксирован такой прирост смертей пожилых людей, как в июле 2006 г., тем самым повысил долю смертности лиц старше 75 лет.

Нидерландскими специалистами была составлена тепловая карта (рисунок 9) [13]. Ее целью было выявление мест в городе, где есть факторы, усиливающие городской остров тепла.

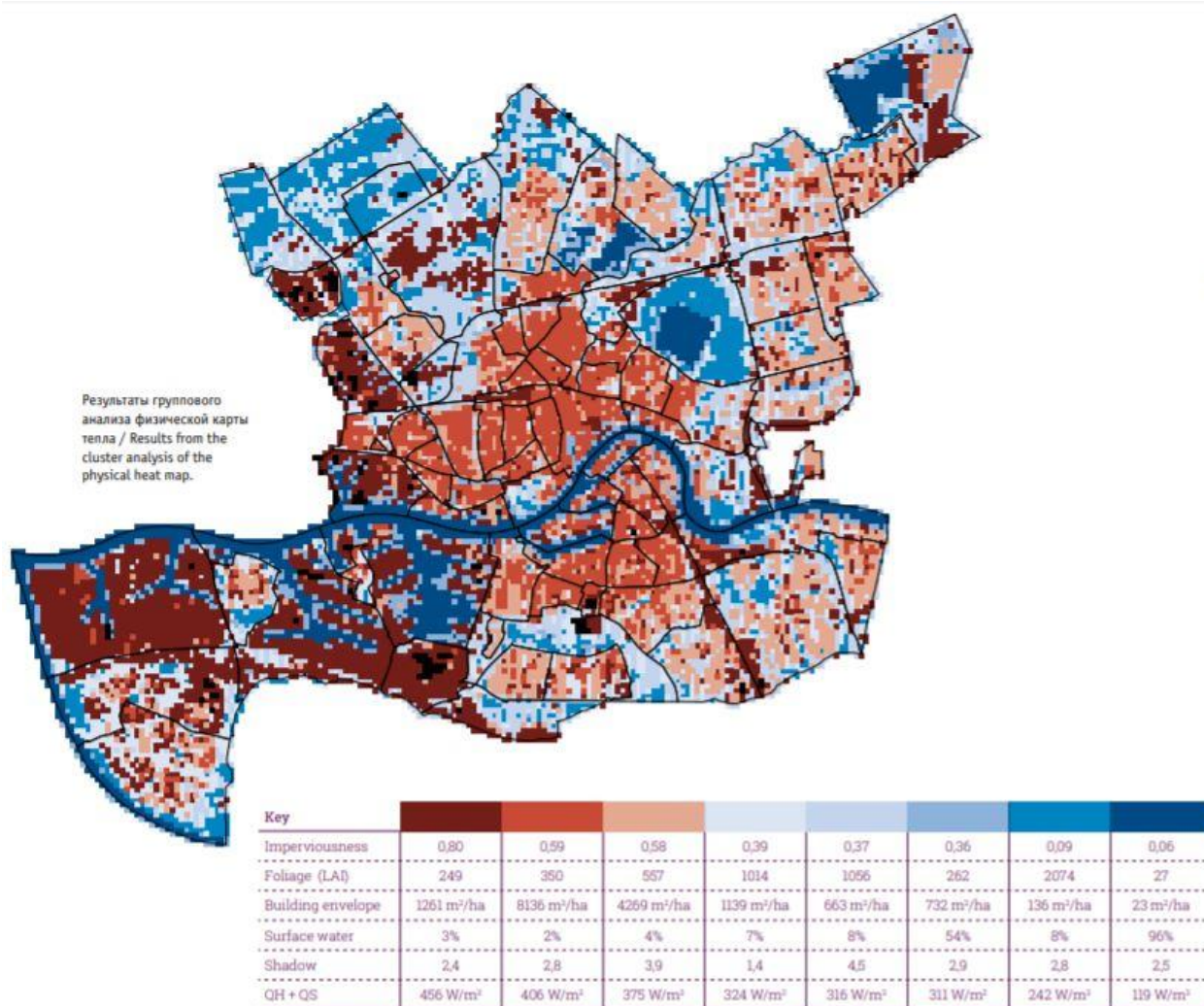


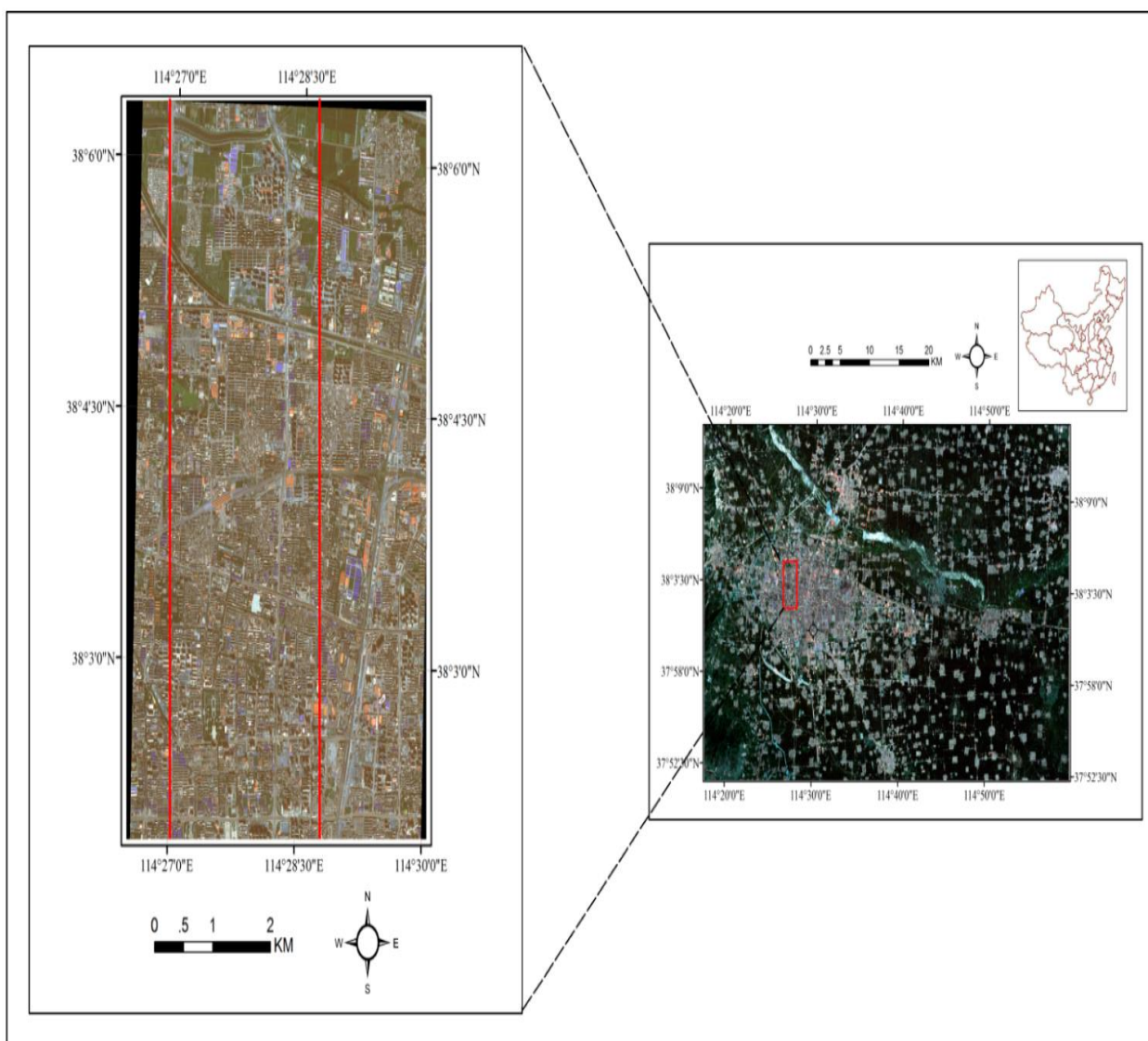
Рисунок 9 – Физическая карта тепла проекта «Хоттердам» [13]

Превышение смертности в городе по данным исследователей тепловых аномалий [13] объясняется тремя факторами:

- Суммой явной теплоты.
- Концентрацией людей этой возрастной группы.
- Периодом эксплуатации домов, в которых они живут.

Далее рассмотрим исследования типичного китайского города.

Шицзячжуан – город, расположенный на севере Китая в низких широтах Евразии, имеет муссонный климат, среднегодовое количество осадков всего около 500 мм в год, главным образом в июле и августе. Город и его пригород авторами [16] были выбраны в качестве территории исследования (рисунок 10).



(a)

(b)

Рисунок 10 – Район исследования в Шицзячжуане, Китай; (а) цветовой композит WordView-2 RGB исследуемой области; (б) местоположение области [16]

Для анализа выбраны четыре изображения (5 сентября 2006 г.; 23 августа 2007 г.; 12 августа 2009 г. и 15 августа 2010 г.) с Landsat-5.

Результаты показаны на карте (рисунок 11). В 2006 г. максимальное среднее значение LST (Land Surface Temperature) было зафиксировано для металлической крыши, за которой следовали застроенные участки и оголенный грунт.



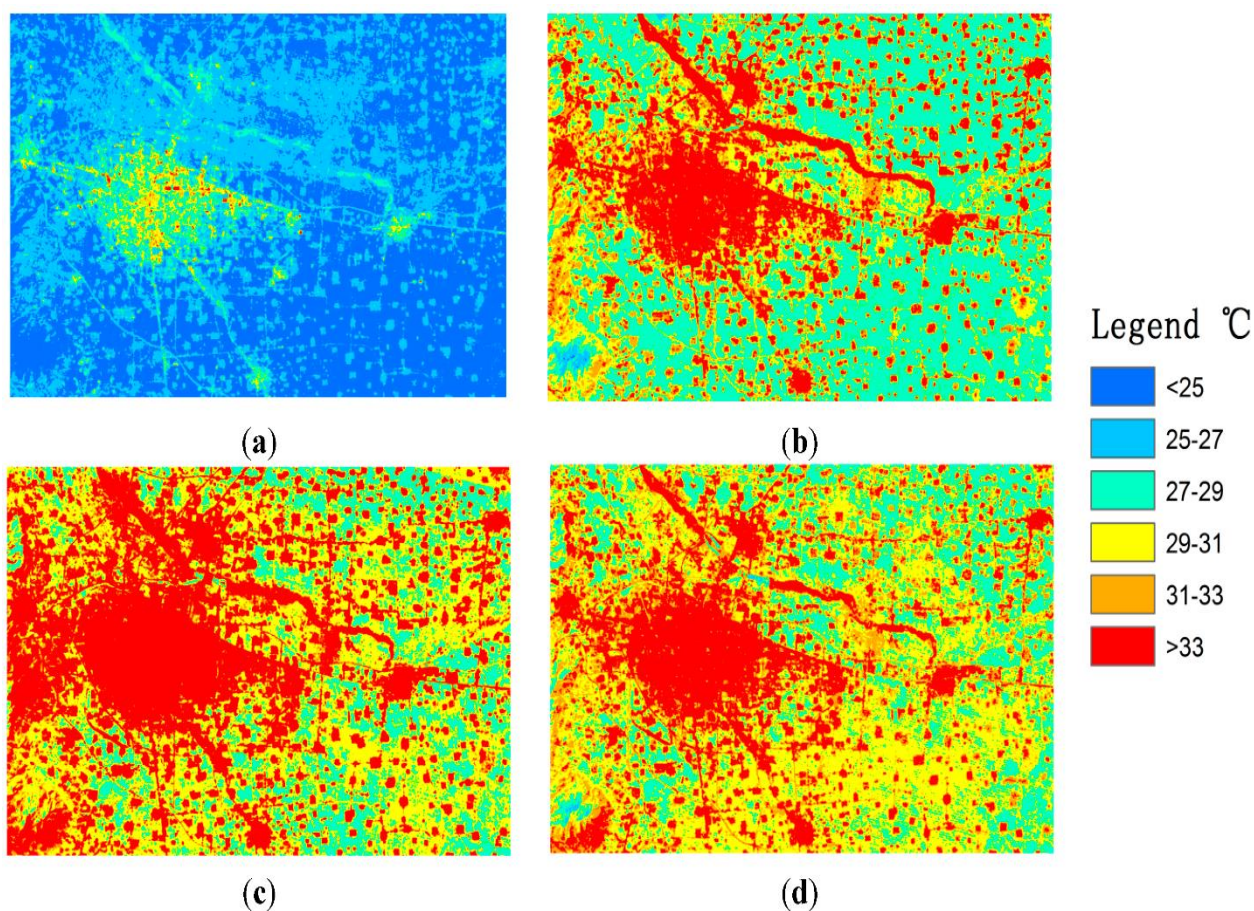


Рисунок 11 – Распределение LST в Шицзячжуане, Китай, полученное по снимку Landsat TM: (a) 5 сентября 2006 г.; (b) 23 августа 2007 г.; (c) 12 августа 2009 г.; и (d) 15 августа 2010 г. [17]

По сравнению с другими особенностями растительного покрова, растительность имела значение LST (23,5 °C). В течение остальных трех лет, как и в 2006 г., вся растительность демонстрировала самый низкий средний LST, в то время как непроницаемая поверхность и голая почва имели средний LST более 33 °C. Это связано с теплоемкостью растительности [14], которая позволяет ему легко выделять тепло, сохраняемое за счет транспирации навеса, особенно в жаркую погоду. Следует отметить, что температура воды была выше, чем температура поверхности растительности на протяжении всех четырех анализируемых лет.

Таким образом, рассмотренный отечественный и зарубежный опыт свидетельствует, во-первых, об эффективности описанной методики для

установления тепловых аномалий в городах, во-вторых, о возможности определения пространственных и временных особенностей определения структуры тепловых полей над городскими территориями.

### 3 Источники данных. Методики построения карт тепловых полей

В данной главе рассмотрим исходные данные для исследования территорий г. Краснодара и г. Майкопа. При выборе данных предполагался внутригодовой анализ. Проанализируем методики построения карт тепловых полей.

Первый этап анализа – поиск и скачивание необходимых снимков с исследуемыми территориями в определенные месяцы (таблица 1).

Таблица 1 – Исходные данные

Landsat 8 OLI/TIRS	
г. Краснодар	г. Майкоп
8 февраля 2018 г. Время 8:07	
19 августа 2018 г. Время 8:06	
29 апреля 2018 г. Время 8:06	–
22 февраля 2019 г. Время 8:07	
4 апреля 2019 г. Время 8:06	
20 августа 2019 г. Время 8:07	
25 февраля 2020 г. Время 8:06	
23 апреля 2020 г. Время 8:06	

Для оценки структуры теплового поля г. Краснодара и г. Майкопа применялся 10 канал. Рекомендовано отказаться от 11 канала [10].

Для получения истинных значений температуры земной поверхности (LST) необходимо исходные значения яркости космических снимков на сенсоре пересчитать в значения температуры земной поверхности. Для этого использована распространенная методика [11]. Обработка данных тепловых ка-

налов Landsat проводилась с помощью программ QGIS 3.6 и ArcGIS 10.3.1. Температура поверхности рассчитывалась по формулам (на примере г. Краснодара):

Спектральное излучение TOA spectral radiance (1) :

$$L_{\lambda} = M_L * Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

где  $L_{\lambda}$  – спектральное излучение TOA;  $M_L$  – полосовой мультипликативный коэффициент масштабирования из метаданных (Radiance\_Mult\_Band10);  $Q_{cal}$  – стандартные значения пикселей продукта (DN – исходные значения растра в каналах TIRS);  $A_L$  – полосовой аддитивный коэффициент масштабирования из метаданных (Radiance\_Add\_Band10).

Рассчитываем формулу в растровом калькуляторе (рисунок 12).

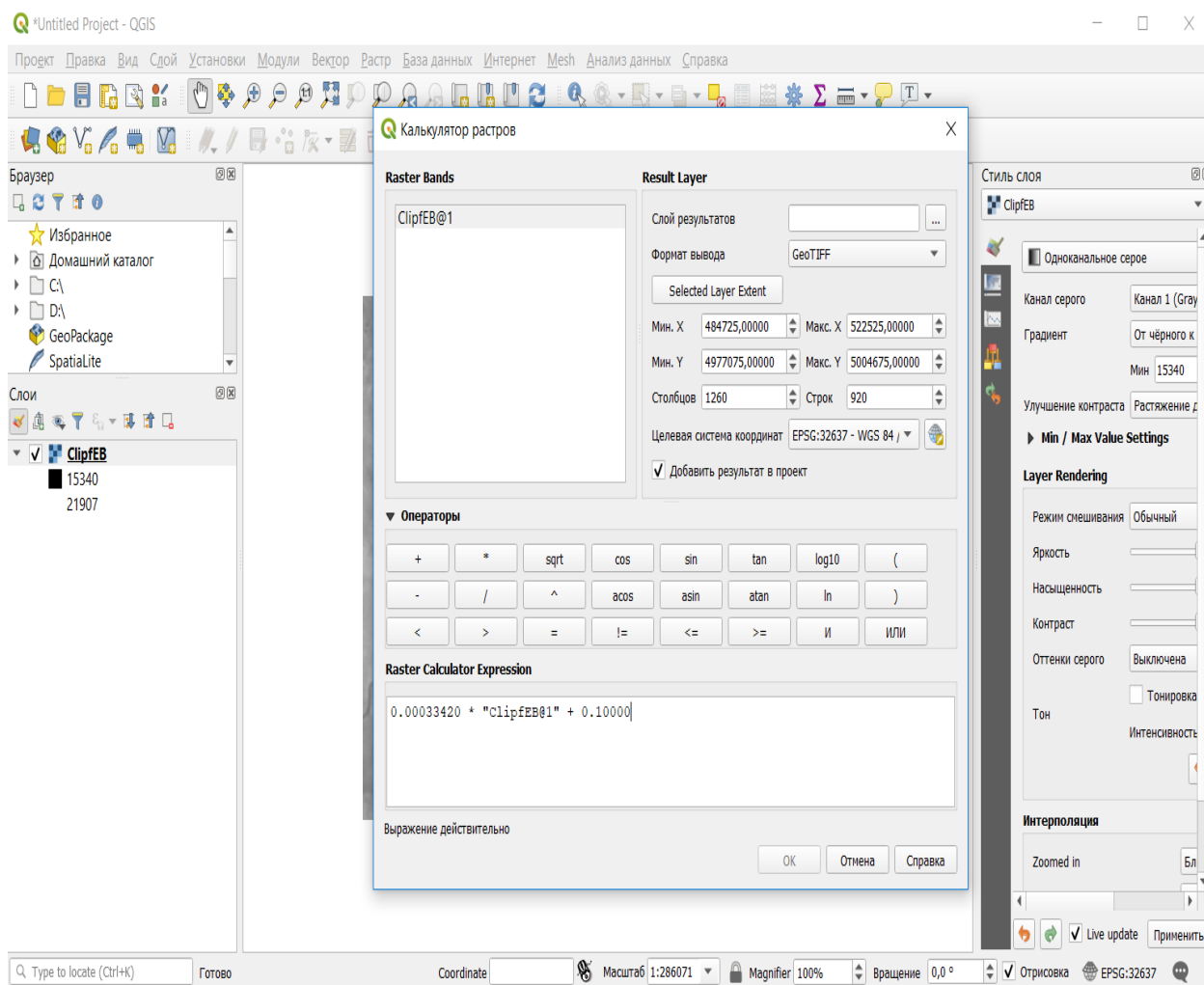


Рисунок 12 – Расчет в растровом калькуляторе

Преобразование яркости At-Satellite в температуру (2) (LST – Land Surface Temperature):

$$T = K_2 / \ln(K_1 / L_\lambda + 1) - 273.15 \quad (2)$$

где  $T$  – At-Satellite яркостная температура;  $L_\lambda$  – спектральное излучение ТОА;  $K_1$  – константа термического диапазона из метаданных ( $K_1\_Constant\_Band10$ );  $K_2$  – константа термического диапазона из метаданных ( $K_2\_Constant\_Band10$ ).

Результат получится в  $K$ , поэтому мы сразу переведем наше значение в  $^{\circ}C$ .

Рассчитываем формулу в растровом калькуляторе (рисунок 13).

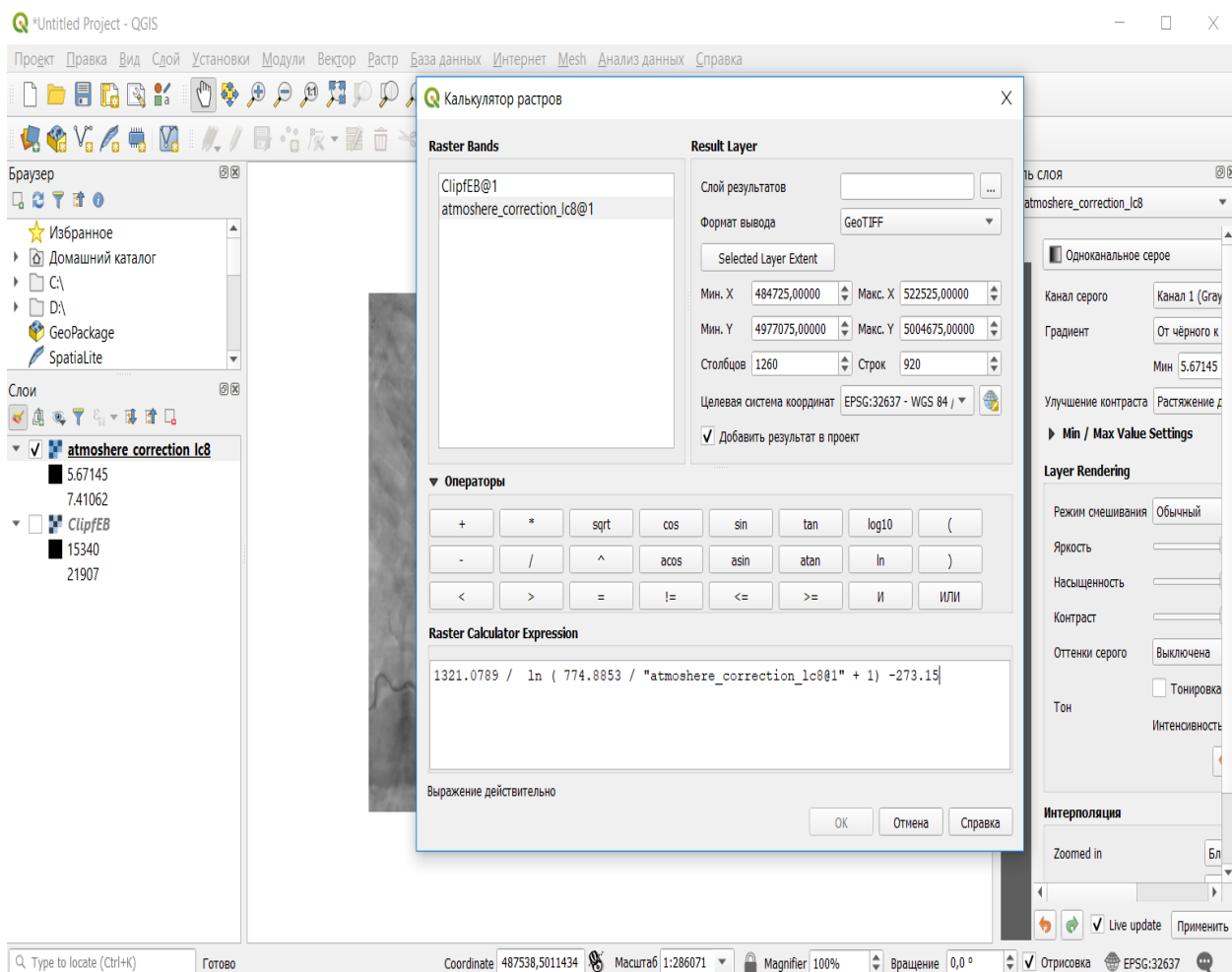


Рисунок 13 – Расчет в растровом калькуляторе

После выполненных действий мы получаем поле температуры (в °С) (рисунок 14).

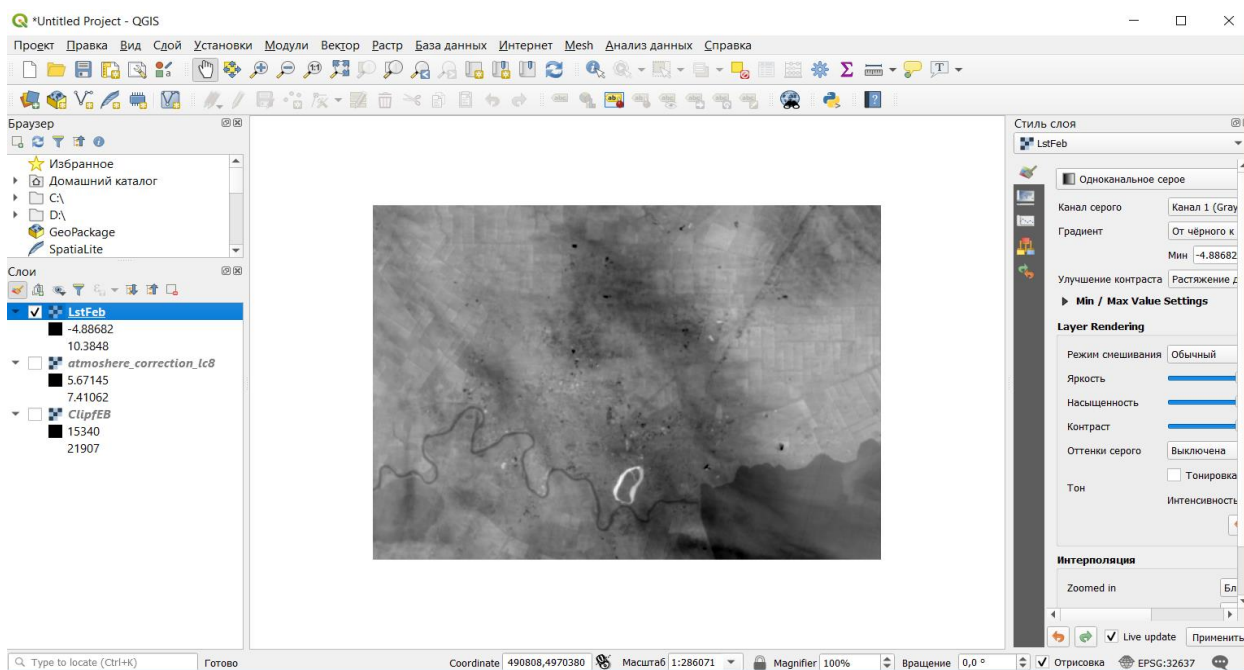


Рисунок 14 – Результат проведенных расчетов температуры поверхности в виде растрового изображения

Полученное изображение перенесем в программу ArcGIS 10.3.1 для деления на классы (рисунок 15) и компоновки карты.

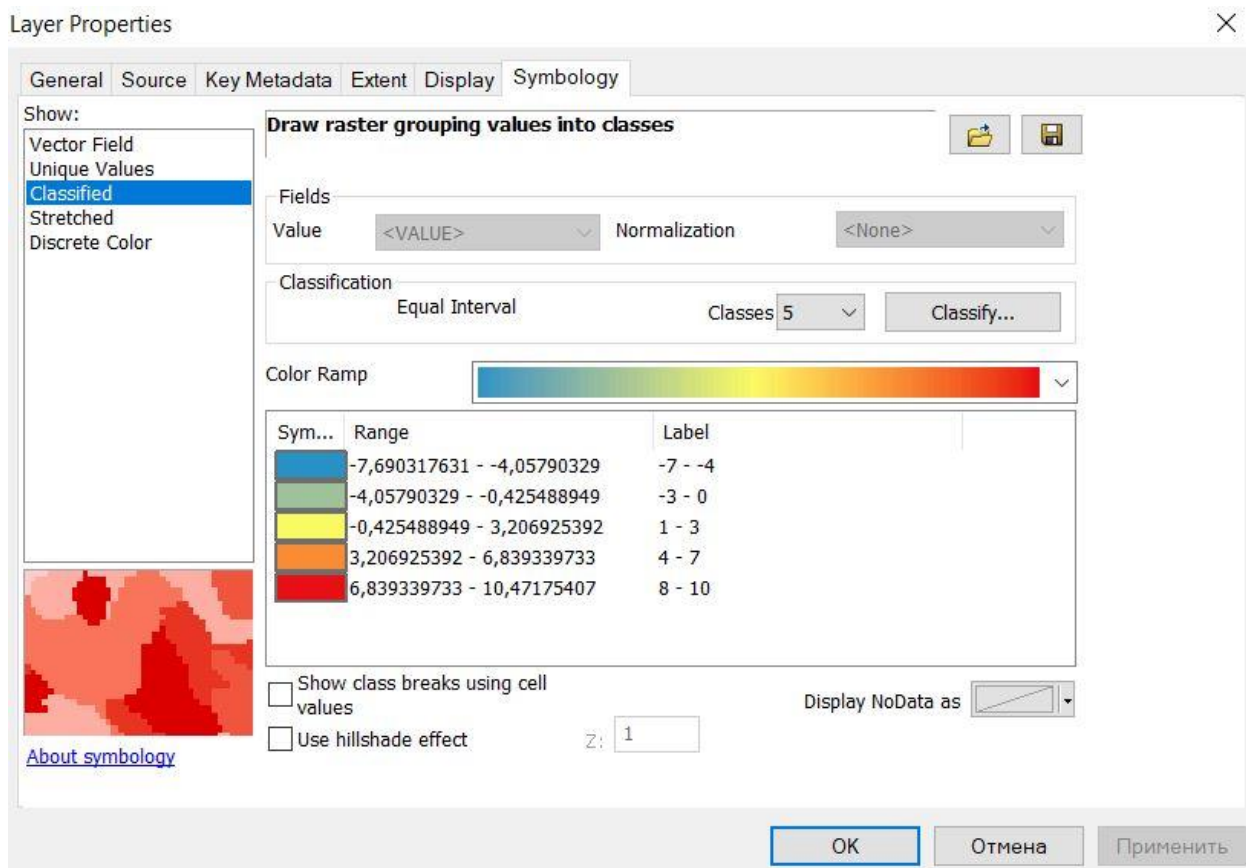


Рисунок 15 – Классификация температуры

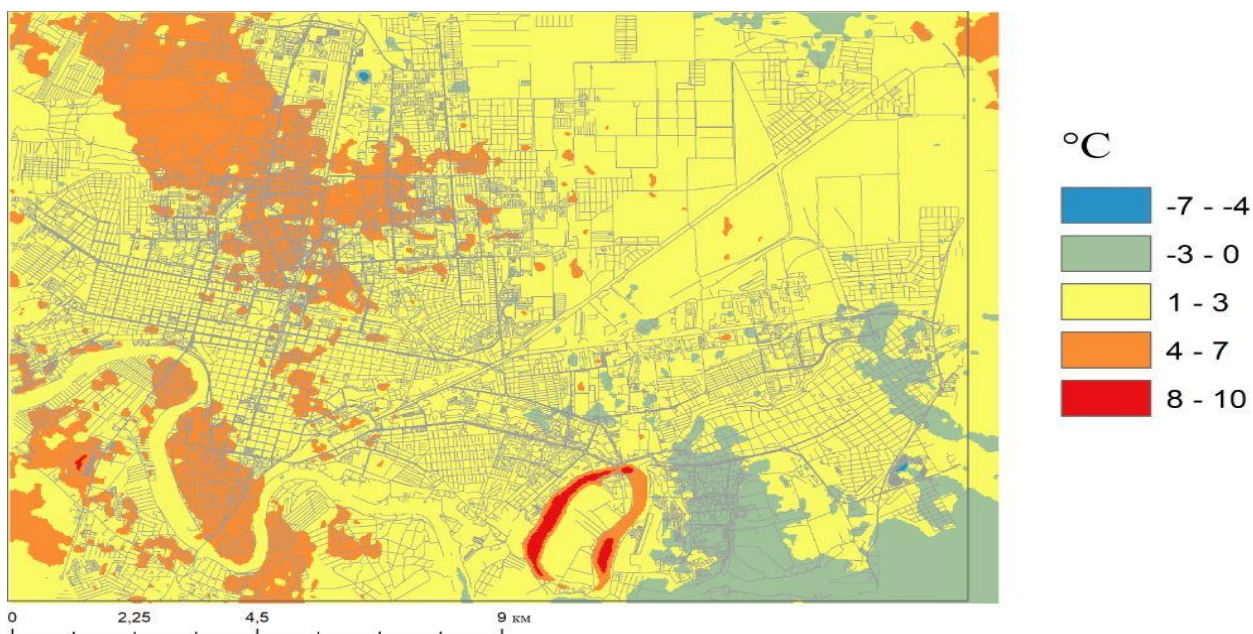


Рисунок 16 – Расчётная температура поверхности г. Краснодара

8 февраля 2018 г. в 8:07

Для других снимков также произведём вышеперечисленные расчеты. Для дальнейшего использования и анализа добавим векторные слои для территорий.

Согласно расчетам 8 февраля 2018 г. (рисунок 16) в пределах нашей анализируемой территории и ее окрестностей диапазон изменчивости температуры поверхности оказался равен  $-7...+10$  °С, также в южной и северной части, были зафиксированы небольшие пятна с температурой  $+10$  °С. Температура на большей части территорий колеблется от  $+2...до +7$  °С. Очевиден вклад Краснодарской ТЭЦ, сбрасывающая воду в Старую Кубань, с температурой  $+10$  °С. В тоже время в русле Кубани водная поверхность имела температуру  $+1...+3$  °С.

Рассмотрим аналогичную методику построения карт тепловых полей с дополнительными параметрами – Emissivity («отражательная способность земной поверхности») и NDVI («вегетационный индекс»).

Спектральное излучение TOA spectral radiance:

$$L_{\lambda}=M_L*Q_{cal}+A_L$$

где  $L_{\lambda}$  – спектральное излучение TOA;  $M_L$  – полосовой мультипликативный коэффициент масштабирования из метаданных (Radiance\_Mult\_Band10);  $Q_{cal}$  – стандартные значения пикселей продукта (DN - Исходные значения растра в каналах TIRS);  $A_L$  – полосовой аддитивный коэффициент масштабирования из метаданных (Radiance\_Add\_Band10).

Находим в метаданных параметры  $K_1$  и  $K_2$  для 10 канала. Можем теперь посчитать TOA яркостную температуру:

$$T=K_2/\ln (K_1/L_{\lambda} + 1)$$

где  $T$  – At-Satellite яркостная температура;  $L_{\lambda}$  – спектральное излучение TOA;  $K_1$  – константа термического диапазона из метаданных ( $K_1\_Constant\_Band10$ );  $K_2$  – константа термического диапазона из метаданных ( $K_2\_Constant\_Band10$ ).



Переходим к LST, которую определяем по формуле (3):

$$LST = TB / (\lambda * TB / C_2 * \ln(\text{emissivity})) , \quad (3)$$

где  $\lambda=10.8$ ;  $C_2=14388$ ; TB – ТОА яркостная температура

Чтобы рассчитать LST, нам нужно посчитать значения Emissivity («отражательная способность земной поверхности») с помощью вегетационного индекса (NDVI).

Рассчитывается он по формуле (4):

$$NDVI = NIR - RED / NIR + RED \quad (4)$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра; RED – отражение в красной области спектра.

Еще одной методикой, которая с обновлениями программного обеспечения набирает популярность, можно считать плагин RS&GIS\_V17.0 [12] в программном обеспечении QGIS (рисунок 17).

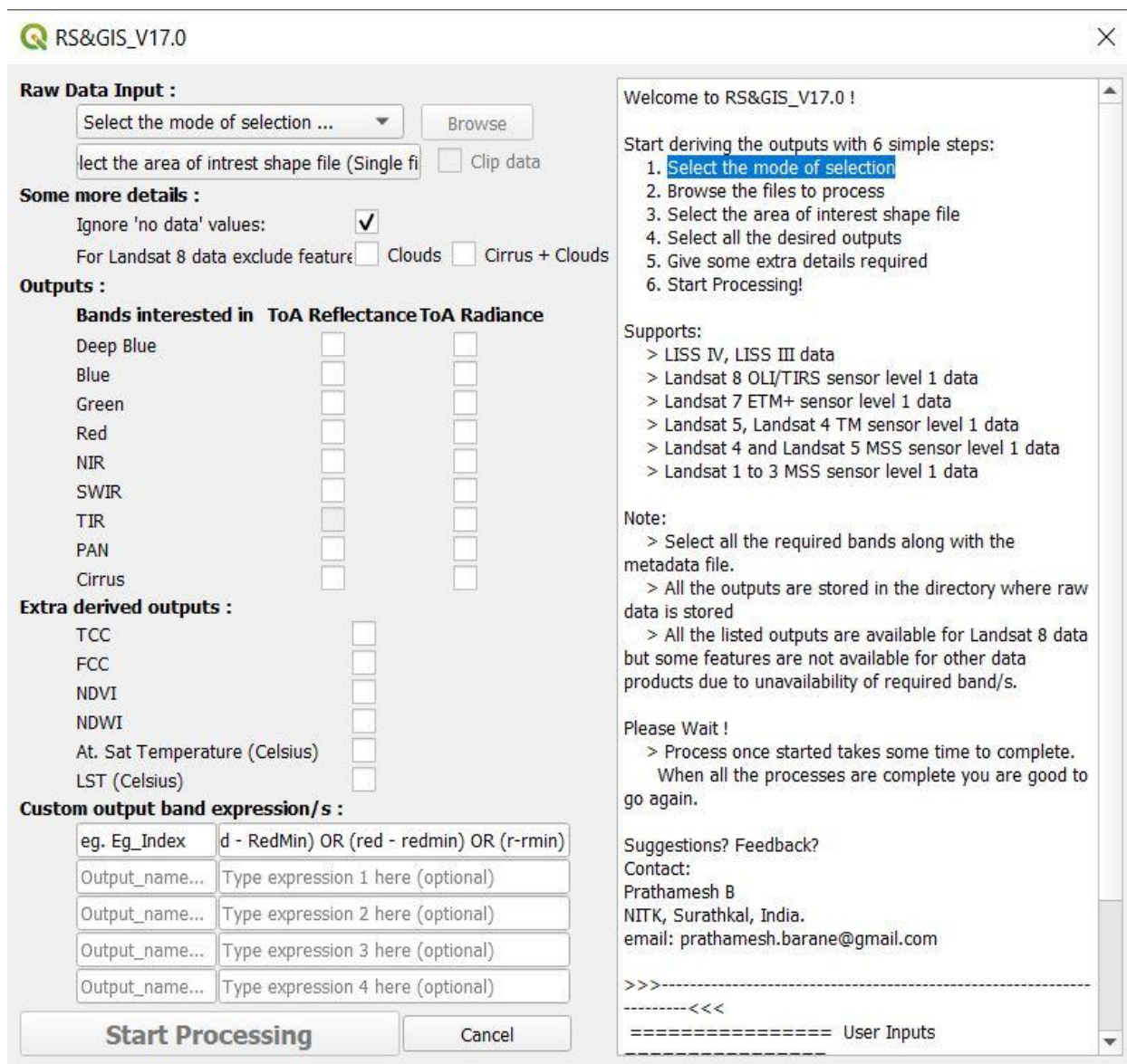


Рисунок 17 – Плагин RS&GIS\_V17.0 в QGIS [9]

Этот плагин прост в обращении. Он может обрабатывать несколько видов космических снимков:

- Landsat 8 OLI/TIRS sensor level 1 data.
- Landsat 7 ETM+ sensor level 1 data.
- Landsat 5, Landsat 4 TM sensor level 1 data.
- Landsat 4 and Landsat 5 MSS sensor level 1 data.
- Landsat 1 to 3 MSS sensor level 1 data.

Для успешного результата нужно пройти 6 простых шагов:

- Выбрать режим выбора данных;

- Выбрать нужные файлы для обработки.
- Выбрать область интереса.
- Выбрать папку с сохранением полученных результатов.
- Дать некоторые нужные дополнительные детали.
- Нажать на «Start Processing».

В результате обработки можно получить данные:

- NDVI (вегетационный индекс).
- NDWI (водный индекс).
- LST (температура поверхности Земли).

Но из-за некорректной работы плагина следует его исключить из методик построения карт тепловых полей. Попробовав все три методики, я воспользовался первой, она легка для физического объяснения и, самое главное, приводит к адекватным результатам расчетов.

## 4 Анализ тепловых полей в городе

### 4.1 Краснодар

В анализе использовался опыт редких для региона исследований [1, 9, 10], в которых установлены ключевые особенности термических полей над городом.

19 августа 2018 г. территориальная изменчивость теплового поля характеризовалась значениями в пределах  $+18...+40$  °С (рисунок 18). Центральная часть города имеет значения от  $+31...+35$  °С. Интенсивность теплового излучения за пределами города (преимущественно – уголья землепользования), как и зимой, оказалась выше. Структура исследуемого поля в сравнении с зимними условиями имела существенные отличия. Тепловые аномалии в городе летом в основном приобрели вид небольших пятен, соизмеримых с объектами. Так, например, поверхность ТРЦ «Меридиан» имеет значение  $+40$  °С.

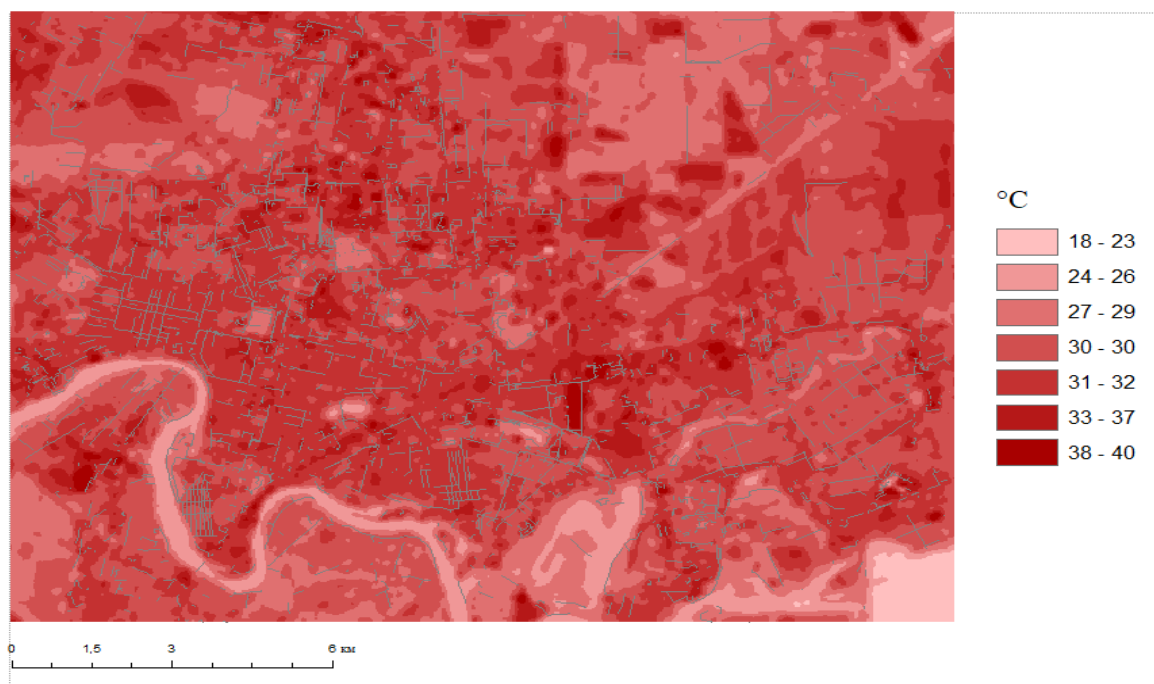


Рисунок 18 – Расчетная температура поверхности г. Краснодара

19 августа 2018 г. в 8:06.

29 апреля 2018 г. изменчивость теплового поля характеризовалась значениями +14...+41 °С (рисунок 19). По сравнению с предыдущей картой, интенсивность теплового излучения за пределами города немного увеличилось. Центральная часть города находится в пределах значений +31...+38 °С. Тепловая аномалия весной над Старой Кубанью закономерно поменяла свой знак.

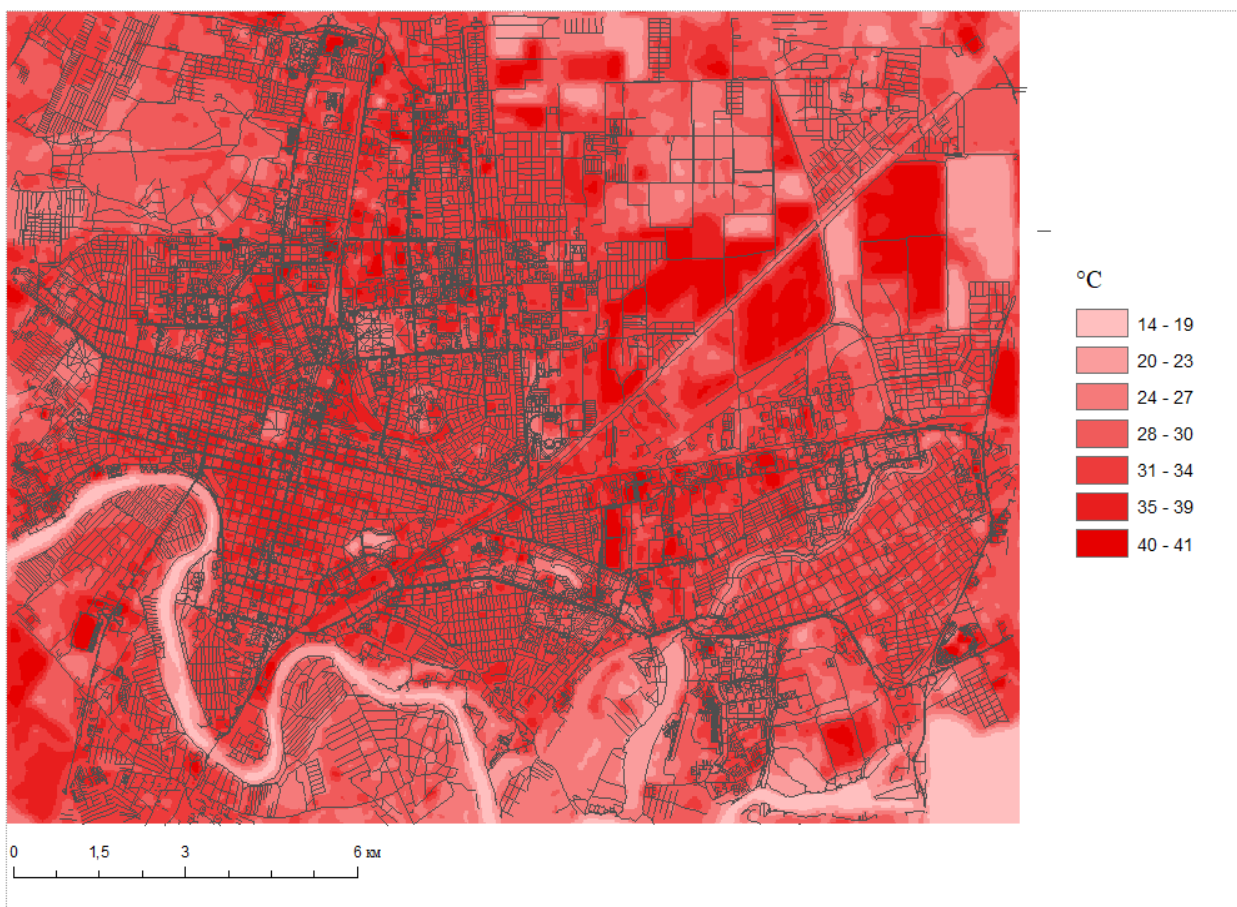


Рисунок 19 – Расчетная температура поверхности г. Краснодара  
29 апреля 2018 г. в 8:06.

Согласно расчетам 22 февраля 2019 г. (рисунок 20) в пределах нашей охватываемой территорий и ее окрестностей, диапазон изменчивости температуры поверхности оказался равен 0...+5 °С. Большая часть территорий колеблется от +9...до +11 °С. Очевиден вклад Краснодарской ТЭЦ, сбрасыва-

ющая воду в Старую Кубань, с температурой +12 °С. В тоже время в русле Кубани водная поверхность имела температуру 0...+5 °С.

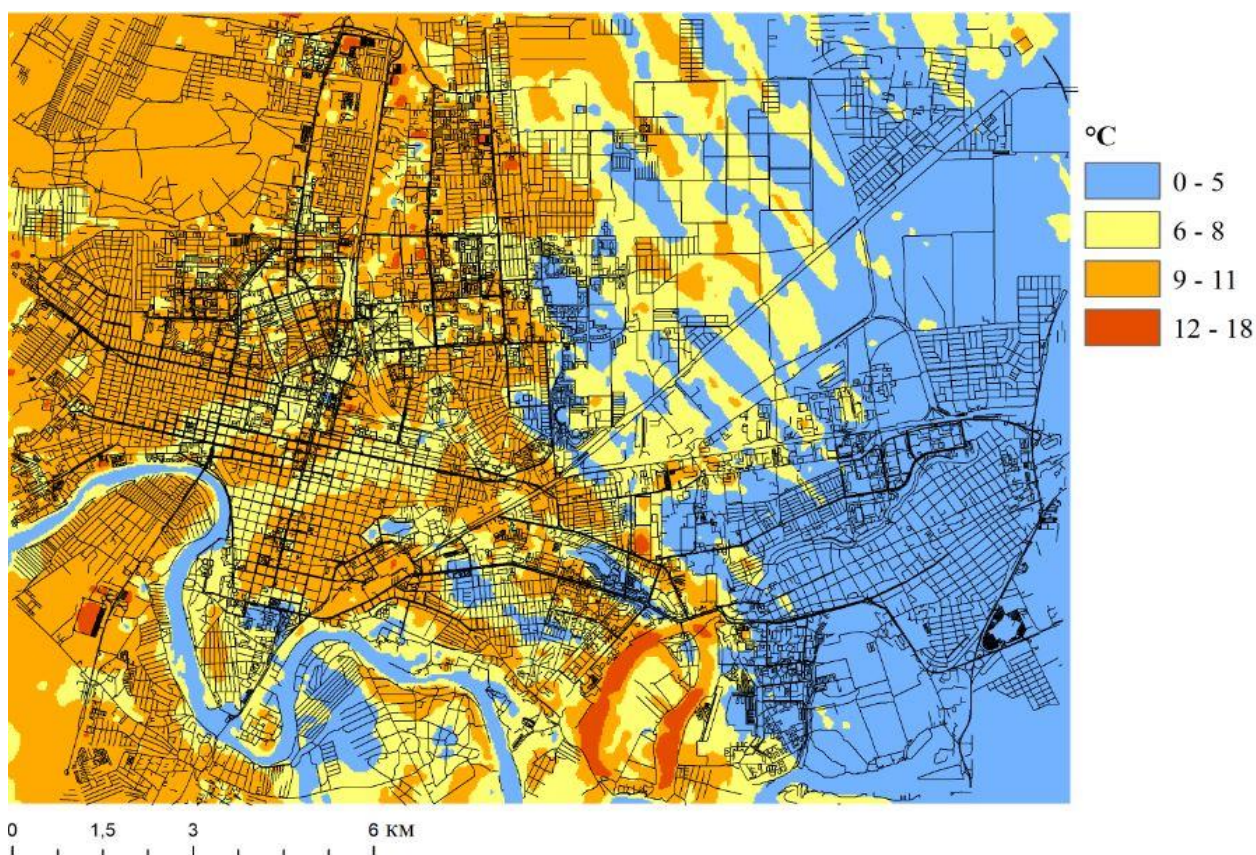


Рисунок 20 – Расчетная температура поверхности г. Краснодара  
22 февраля 2019 г. в 8:07.

4 апреля 2019 г. изменчивость теплового поля характеризовалась значениями -2...+31 °С (рисунок 21). По сравнению с предыдущей картой, интенсивность теплового излучения за пределами города немного увеличилось. Центральная часть города находится в пределах значений +3...+17 °С. Тепловая аномалия весной над Старой Кубанью закономерно поменяла свой знак.



Рисунок 21 – Расчетная температура поверхности г. Краснодара  
4 апреля 2019 г. в 8:06.

20 августа 2019 г. территориальная изменчивость теплового поля характеризовалась значениями в пределах  $+24...+37$  °C (рисунок 22). Центральная часть города имеет значения от  $+34...+37$  °C. Интенсивность теплового излучения за пределами города (преимущественно – уголья землепользования), как и зимой, оказалась ниже. Тепловые аномалии в городе летом в основном приобрели вид небольших пятен, соизмеримых с застройками. Так, например, ТРЦ «Меридиан» имеет значение  $+37$  °C.

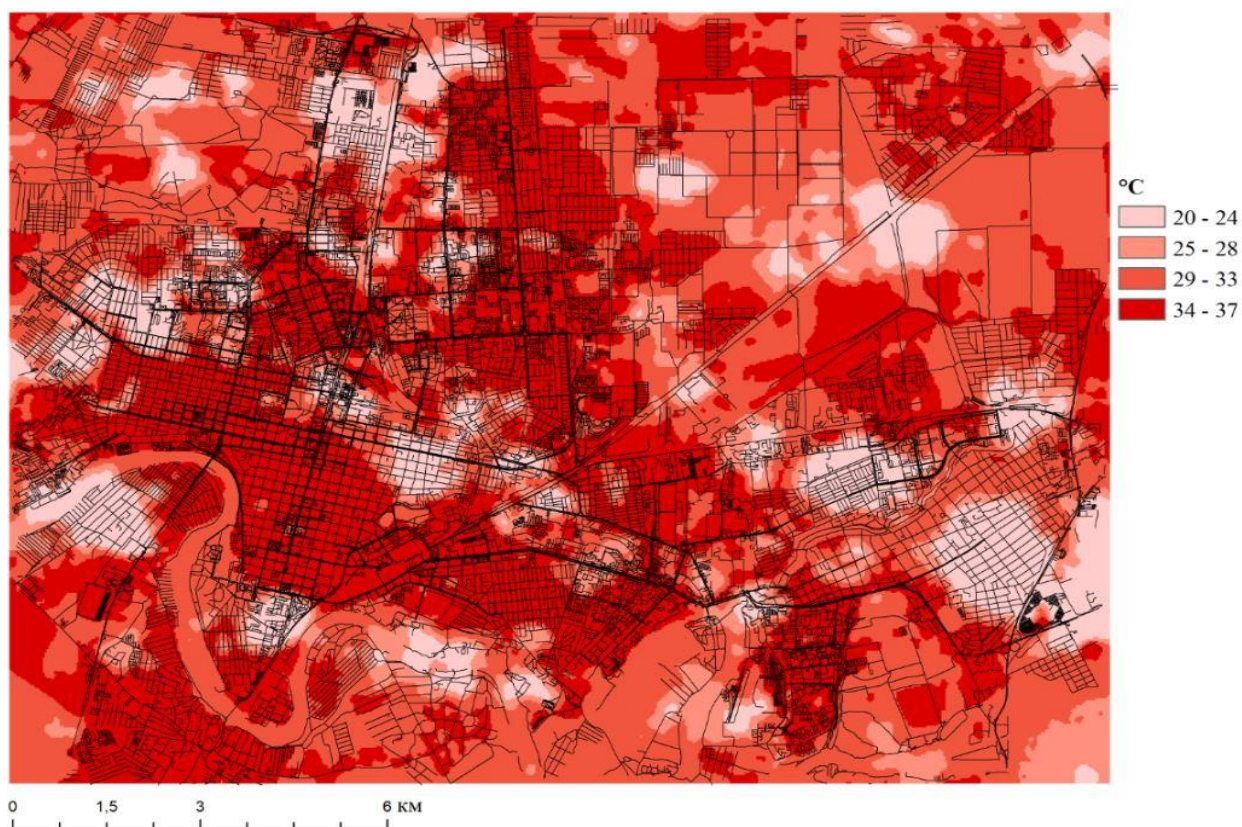


Рисунок 22 – Расчетная температура поверхности г. Краснодара  
20 августа 2019 г. в 8:07.

Согласно расчетам 25 февраля 2020 г. (рисунок 23) изменчивость температуры была в пределах  $-4...+16$  °C. На изображении отчетливо видно вклад Краснодарской ТЭЦ, над Старой Кубанью температура колеблется  $+11...+16$  °C. В то же время русло Кубани имеет отрицательную температуру.



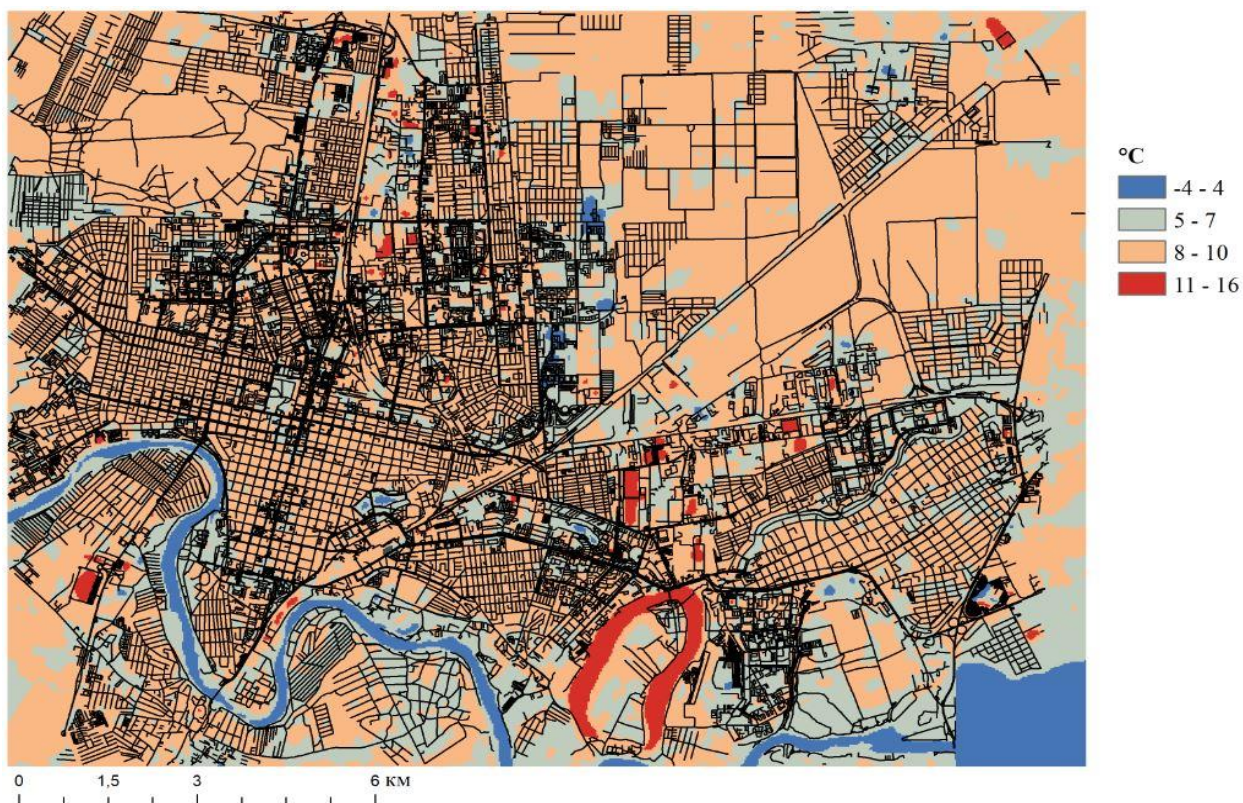


Рисунок 23 – Расчетная температура поверхности г. Краснодара  
25 февраля 2020 г. в 8:06.

20 апреля 2020 г. (рисунок 24) изменчивость температуры было в пределах +4...+39 °С. Старая Кубань имеет значение +4 °С. В центральной части видны небольшие пятна с температурой в пределах +27...+39 °С, это обусловлено плотной застройкой.

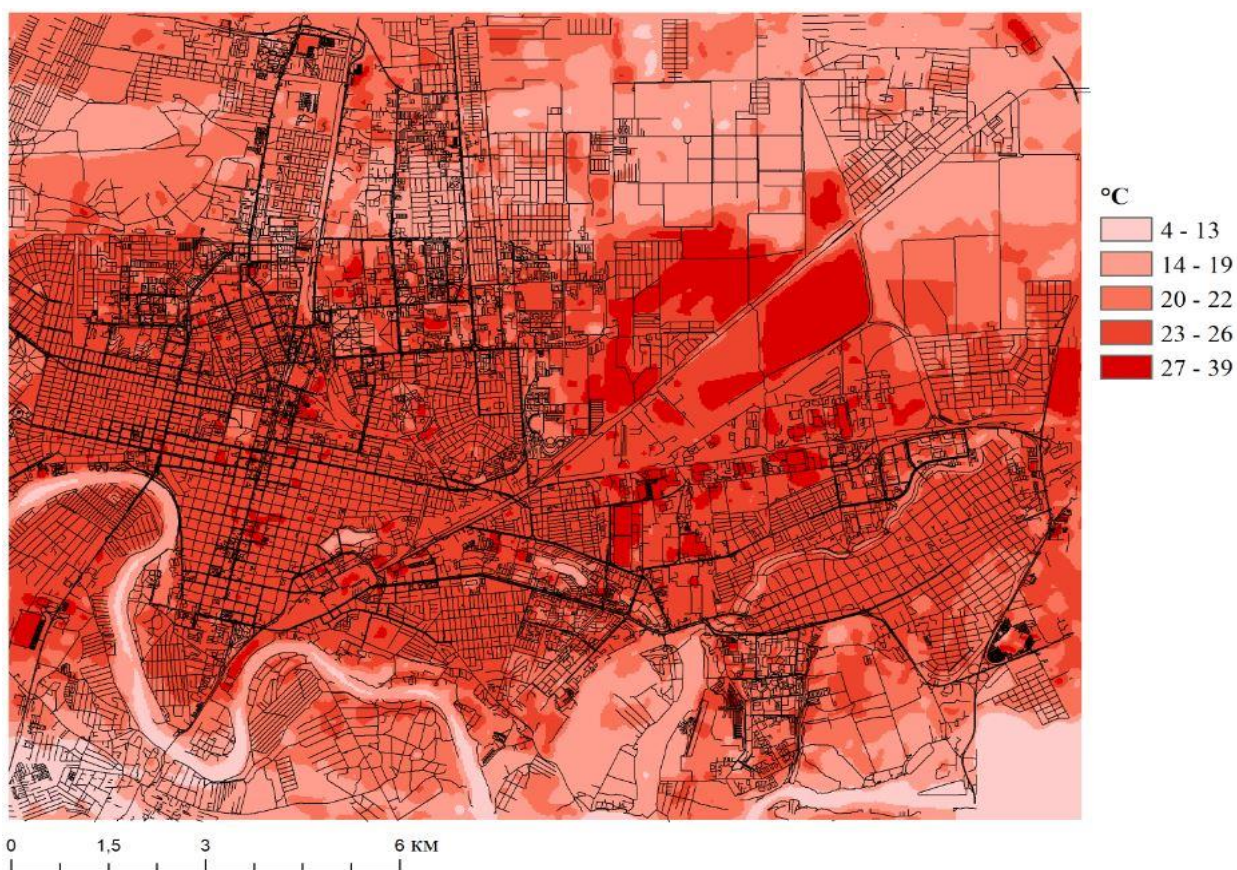


Рисунок 24 – Расчетная температура поверхности г. Краснодара  
23 апреля 2020 г. в 8:06.

По данным снимка в апреле (рисунок 25) выделим несколько объектов тепловых аномалий упомянутых в типах поверхностей. Это торговоразвлекательные центры «Галактика» и «Меридиан» и антропогенными потоками тепла «Парковка» имеют значения  $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $+34\text{ }^{\circ}\text{C}$  соответственно. Также оз. Карасун имеет значение  $+14\dots+19\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

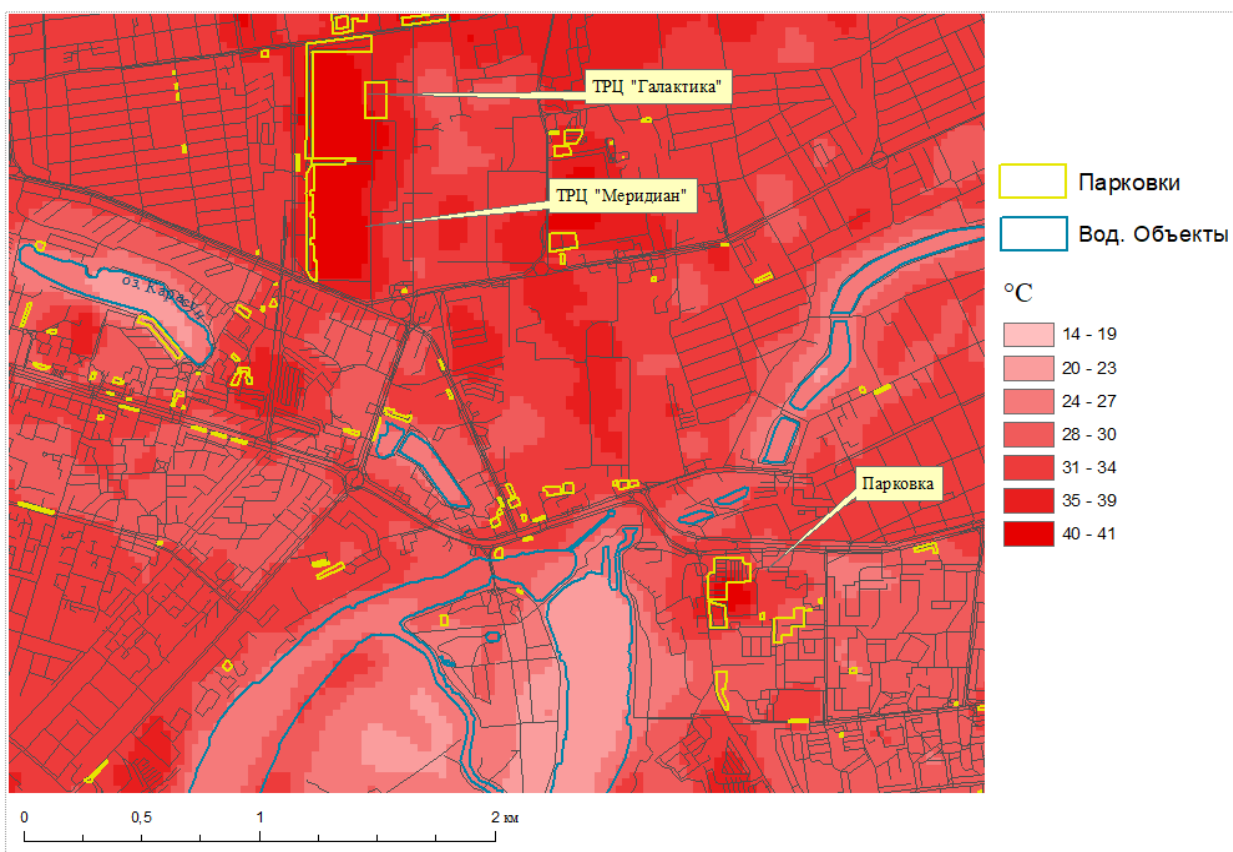


Рисунок 25 – Локальные эффекты распределения температуры г. Краснодара 29 апреля 2018 г.

По данным снимка в январе (рисунок 26) также выделили несколько типов поверхности. На этот раз у водного объекта р. Старая Кубань значения больше, чем у ТРЦ «Галактика» на  $+3$  °С. Также есть отличия в значениях между ТРЦ «Галактика» и ТРЦ «Меридиан», которые равны  $+4...+7$  °С и  $+2...+3$  °С соответственно.

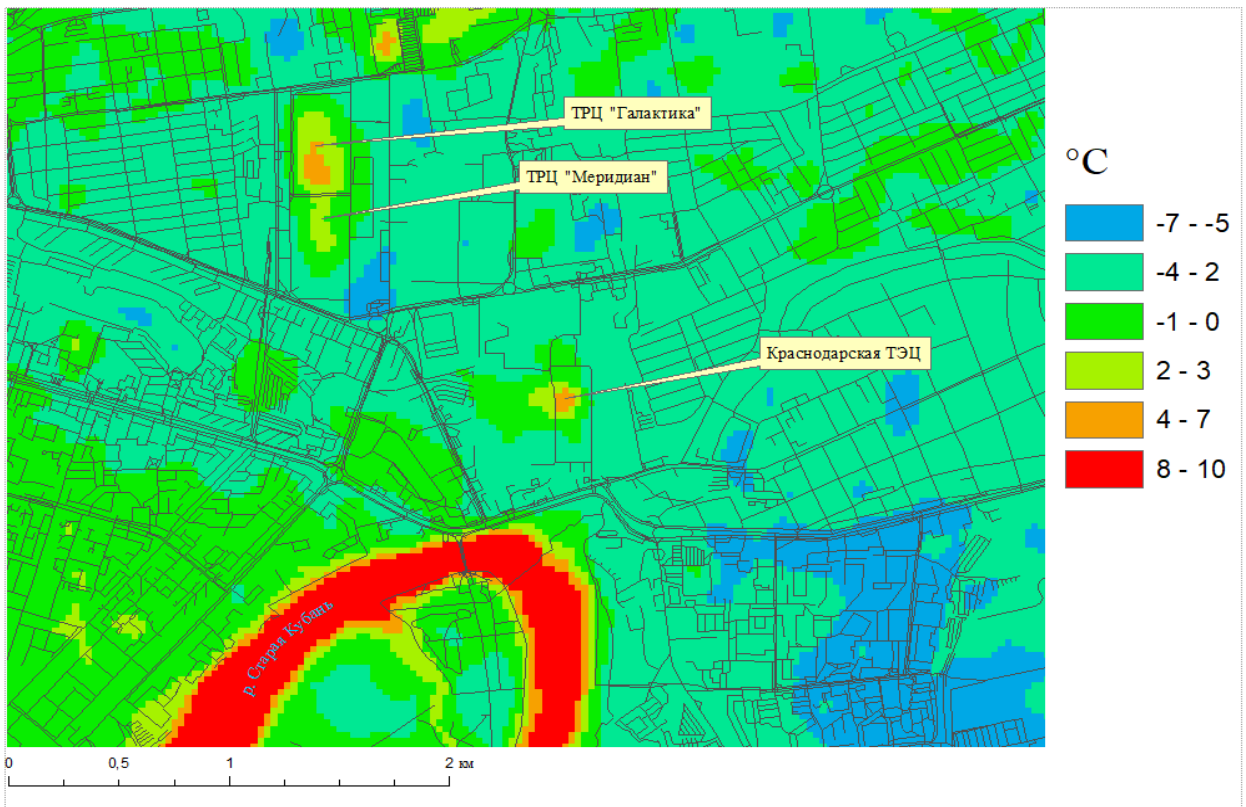


Рисунок 26 – Локальные эффекты распределения температуры г. Краснодара 8 февраля 2018 г.

Выделим несколько объектов (рисунок 27). Оз. Карасун имеет температуру в пределах  $-2...-3$  °C. Р. Старая Кубань, из-за Краснодарской ТЭЦ, имеет положительные температуры. TRЦ «Галактика» в свое время находится в температурном диапазоне  $+4...+12$  °C.

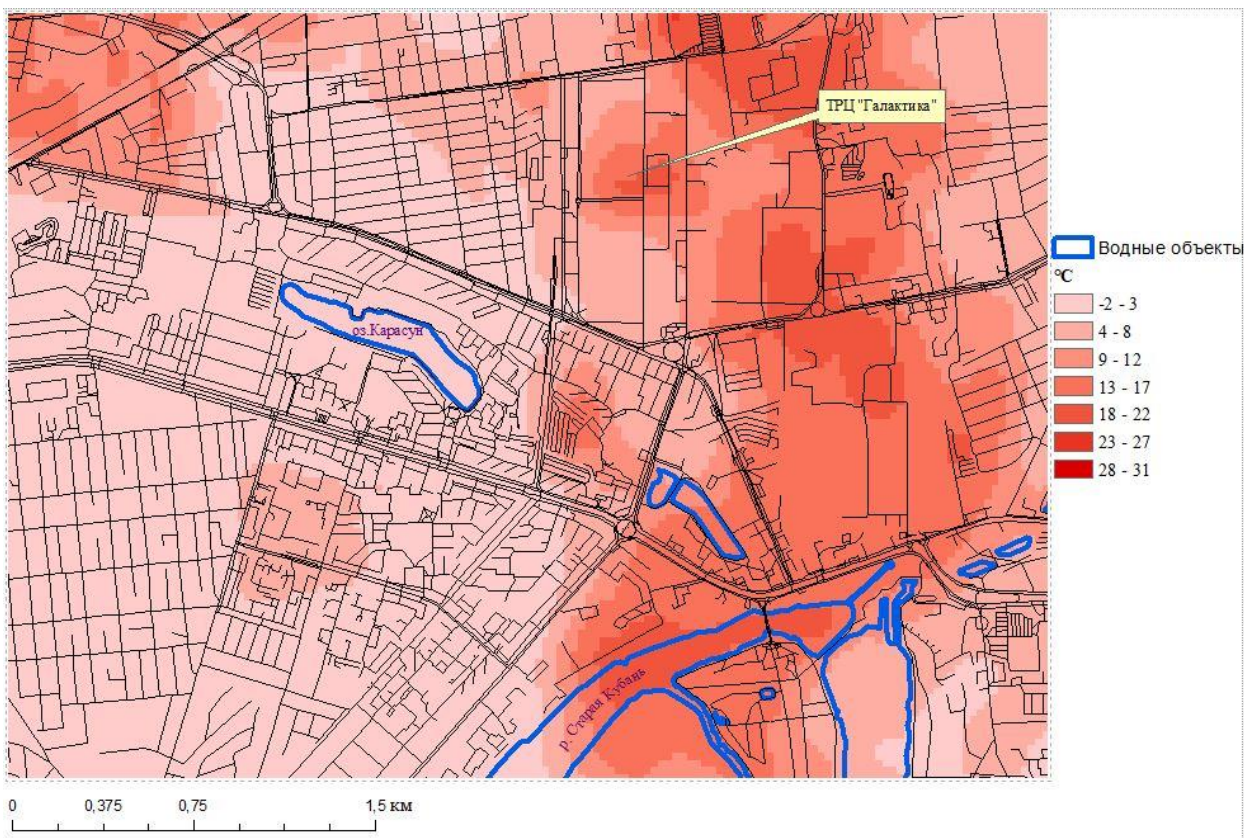


Рисунок 27 – Локальные эффекты распределения температуры г. Краснодара  
4 апреля 2019 г.

По данным карты (рисунок 28) выделим также несколько объектов, отличающихся друг от друга своими свойствами. На этот раз оз. Карасун поменяло свою температуру на положительную в отличии с прошлым годом. Р. Старая Кубань имеет тот же диапазон температур. Температура ТРЦ «Меридиан» колеблется в диапазоне +27...+39 °С.

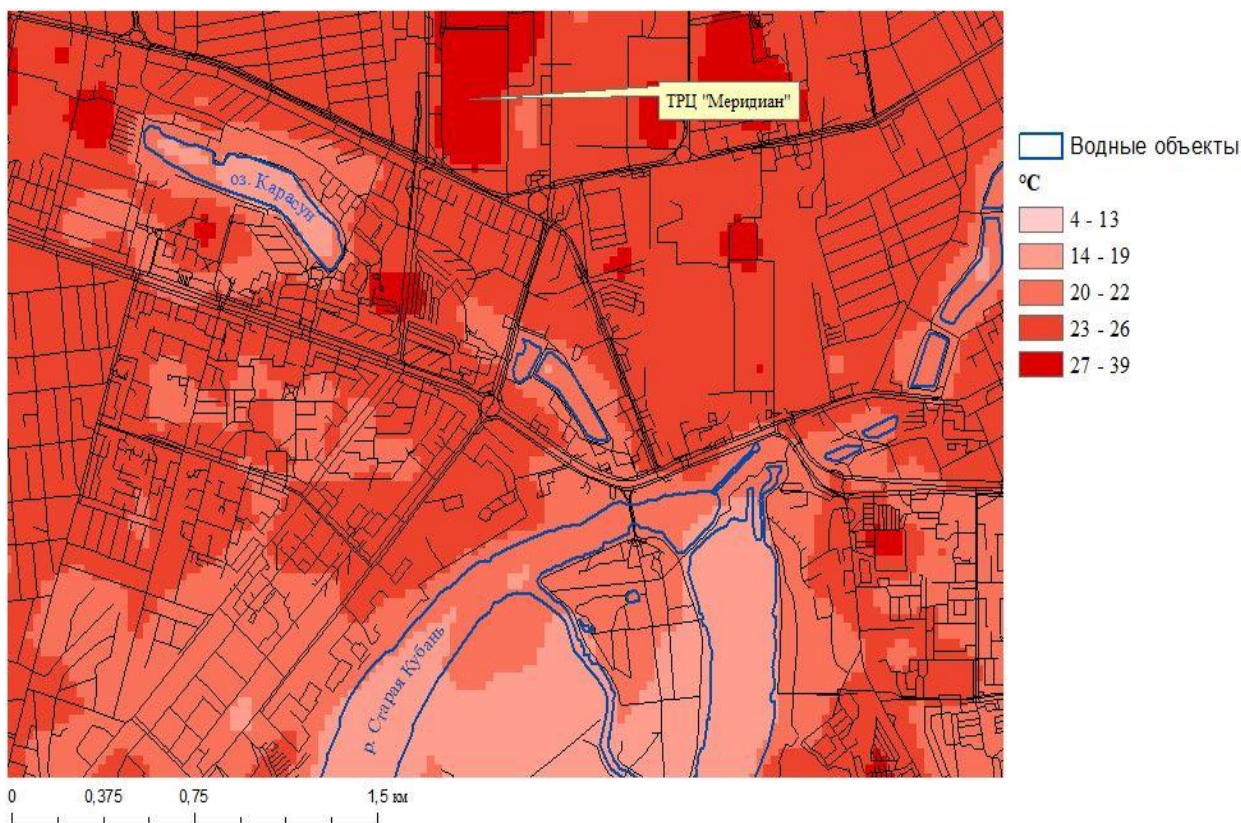


Рисунок 28 – Локальные эффекты распределения температуры г. Краснодара  
23 апреля 2020 г.

#### 4.2 Майкоп

Согласно расчетам (рисунок 29), 8 февраля 2018 г. в пределах нашей охватываемой территорий и ее окрестностей, диапазон изменчивости температуры поверхности оказался равен  $-7...0$  °С. За пределами территории диапазон значений равен  $-7...-5$  °С. В центральной части отслеживается вытянутая линия со значениями  $-4...-2$  °С.

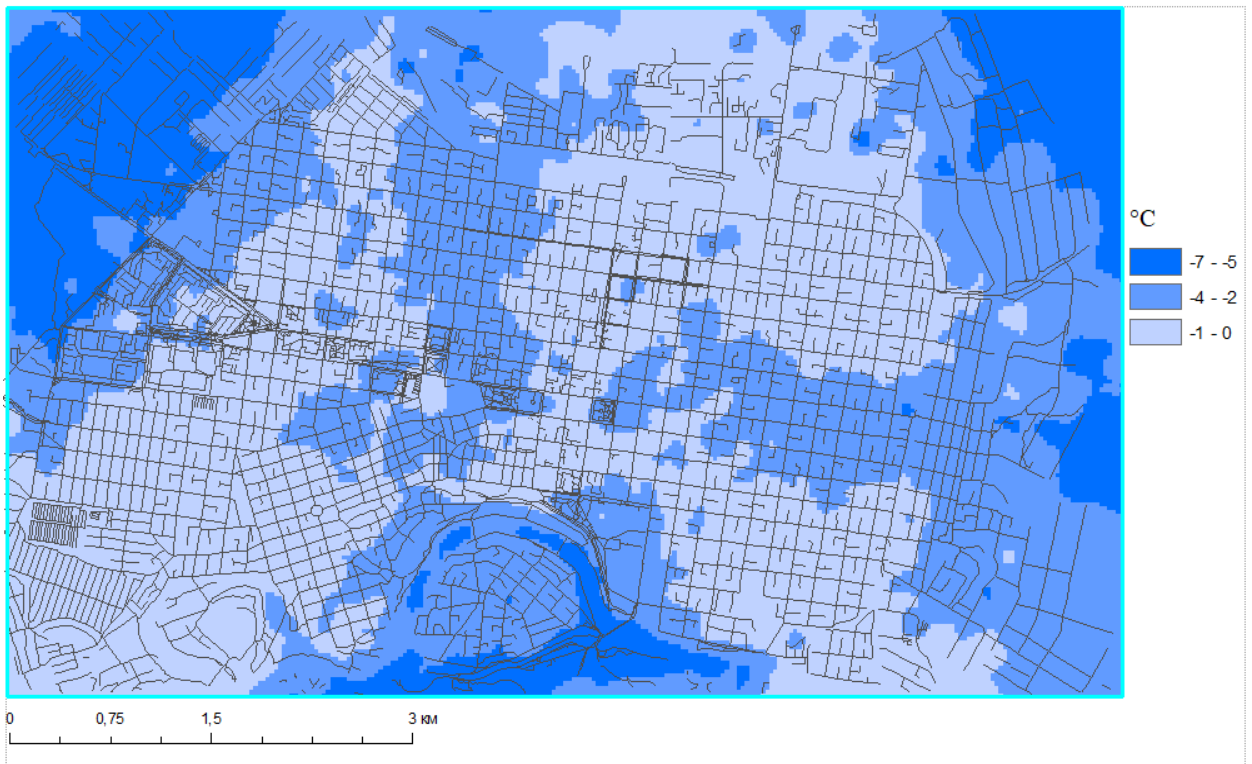


Рисунок 29 – Расчетная температура поверхности г. Майкопа  
8 февраля 2018 г. в 8:07.

19 августа 2018 г. изменчивость теплового поля характеризовалась значениями +23...+34 °С (рисунок 30). Также, как и в зимний период интенсивность температуры за пределами города значительней выше, чем в центральной части. Тепловые аномалии приобрели вид небольших пятен. Например, центральный рынок имеет значение +35 °С.

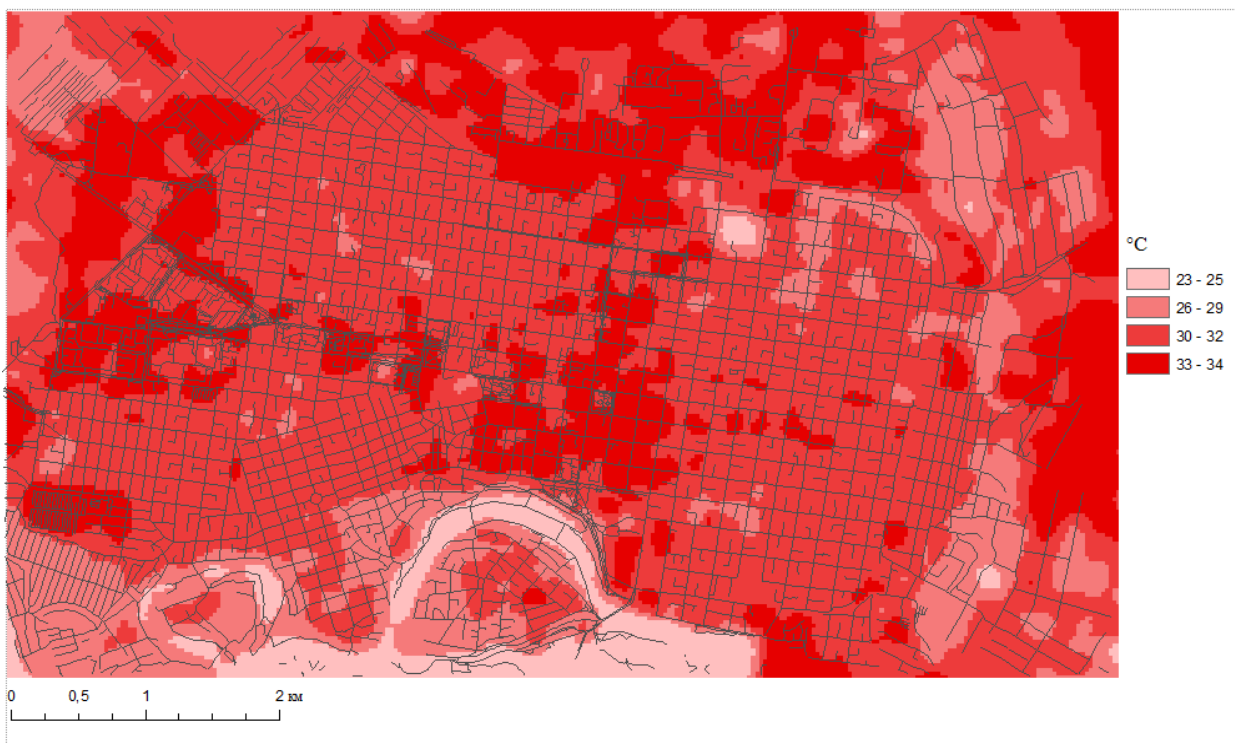


Рисунок 30 – Расчетная температура поверхности г. Майкопа  
19 августа 2018 г. в 8:06.

4 апреля 2019 г. изменчивость теплового поля характеризовалась значениями  $-4...11$  °C (рисунок 31). В западной части видно небольшое пятно со значениями  $-4...-1$  °C, это обусловлено малой застройкой и влиянием р. Белой.



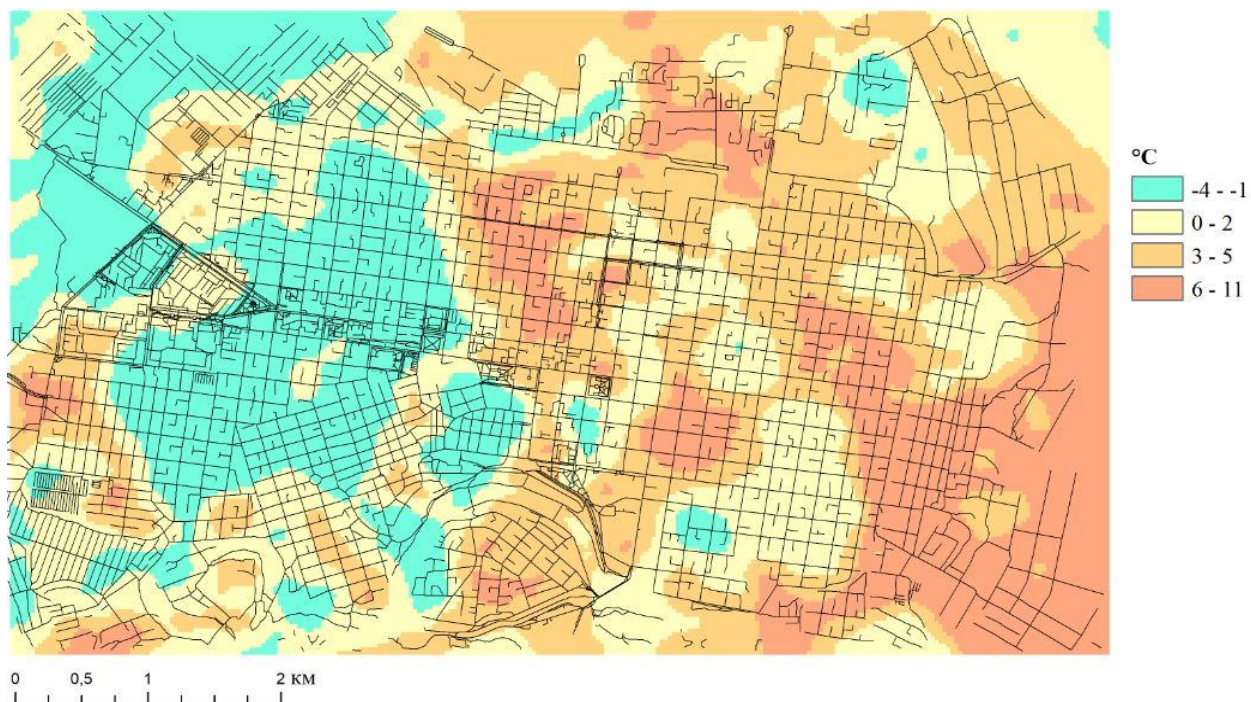


Рисунок 31 – Расчетная температура поверхности г. Майкопа  
4 апреля 2019 г. в 8:06

Согласно расчетам (рисунок 31), 22 февраля 2019 г. в пределах нашей охватываемой территорий и ее окрестностей, диапазон изменчивости температуры поверхности оказался равен  $-2...+1,4$  °C. За пределами территории диапазон значений равен  $-0,7...+1,4$  °C.

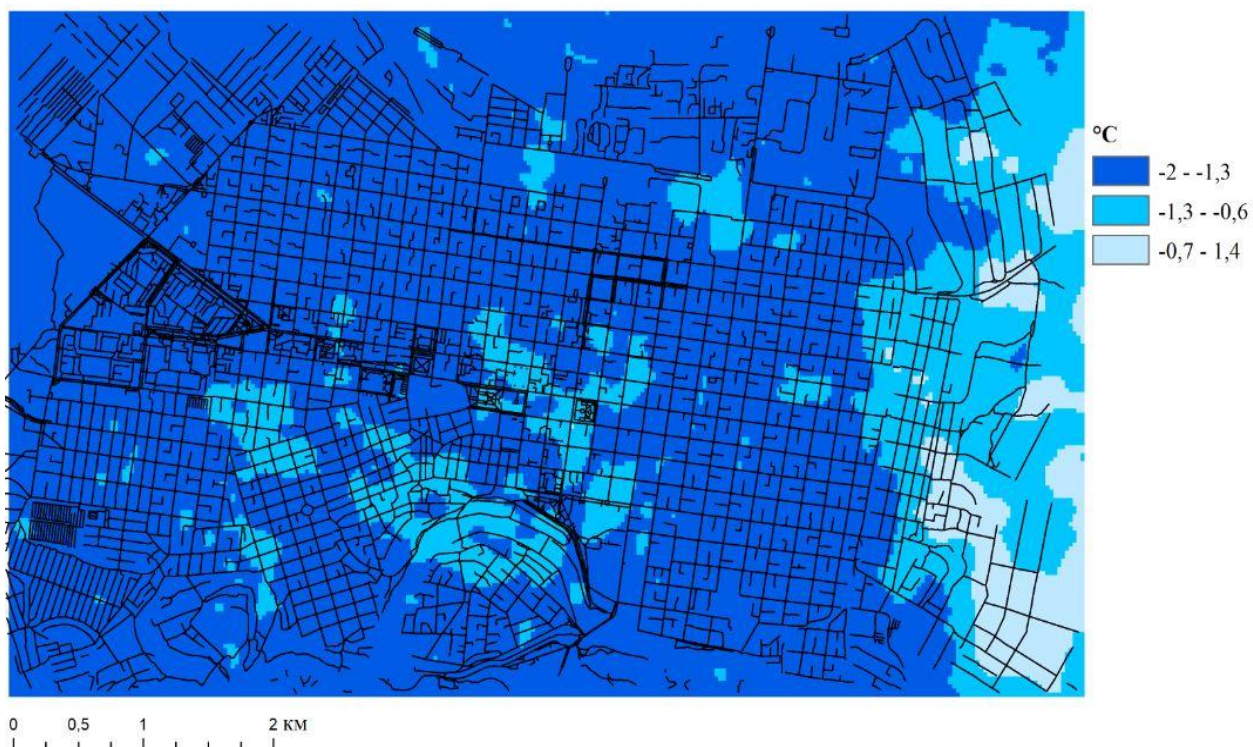


Рисунок 32 – Расчетная температура поверхности г. Майкопа  
22 февраля 2019 г. в 8:07.

20 августа 2019 г. изменчивость теплового поля характеризовалась значениями  $+15...+38$  °C (рисунок 33). Тепловые аномалии приобрели вид небольших пятен. Например, центральный рынок имеет значение  $+35$  °C. Также видны артефакты в центральной части небольшие пятна с температурой  $+15...+24$  °C. Также видно влияние р. Белой, со значением  $+15$  °C.

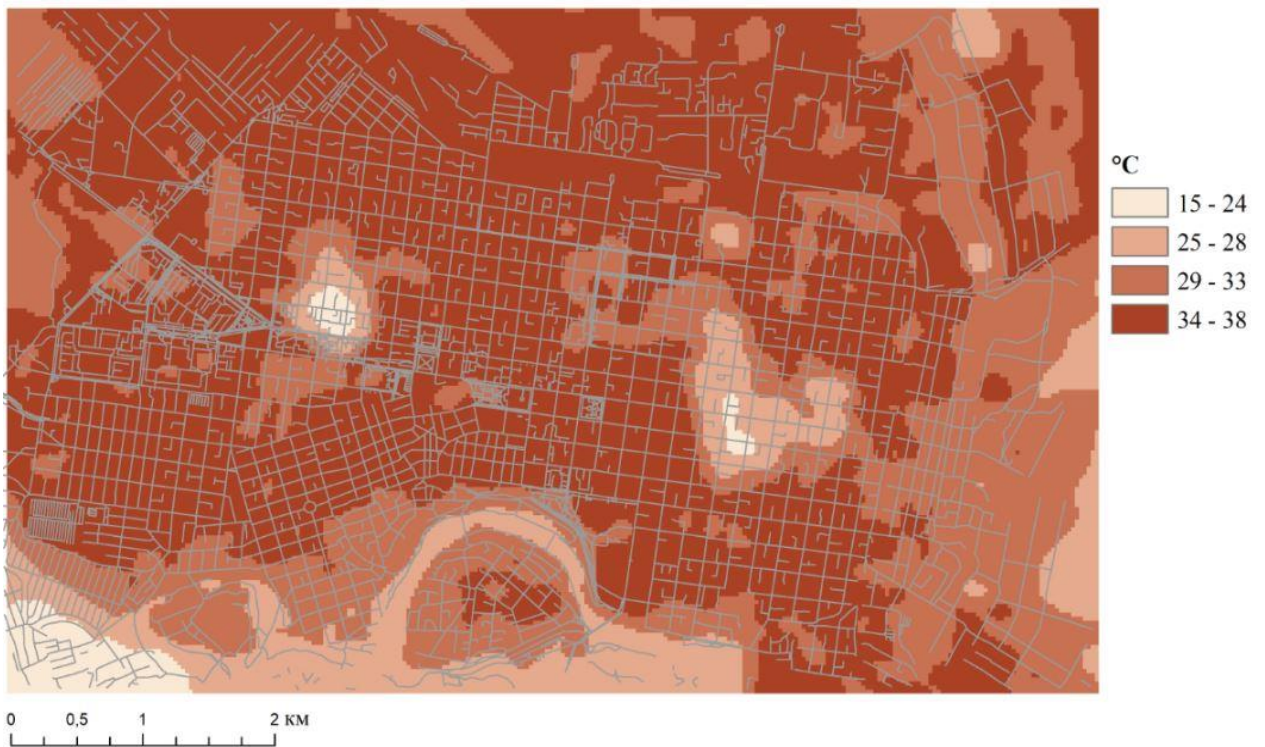


Рисунок 33 – Расчетная температура поверхности г. Майкопа  
20 августа 2019 г. в 8:07.

На карте (рисунок 34) видно в западной части большое вытянутое пятно с температурами +1,3...+3,3 °С. В южной части видны небольшие пятна с отрицательными температурами, обусловлены наличием р. Белой.

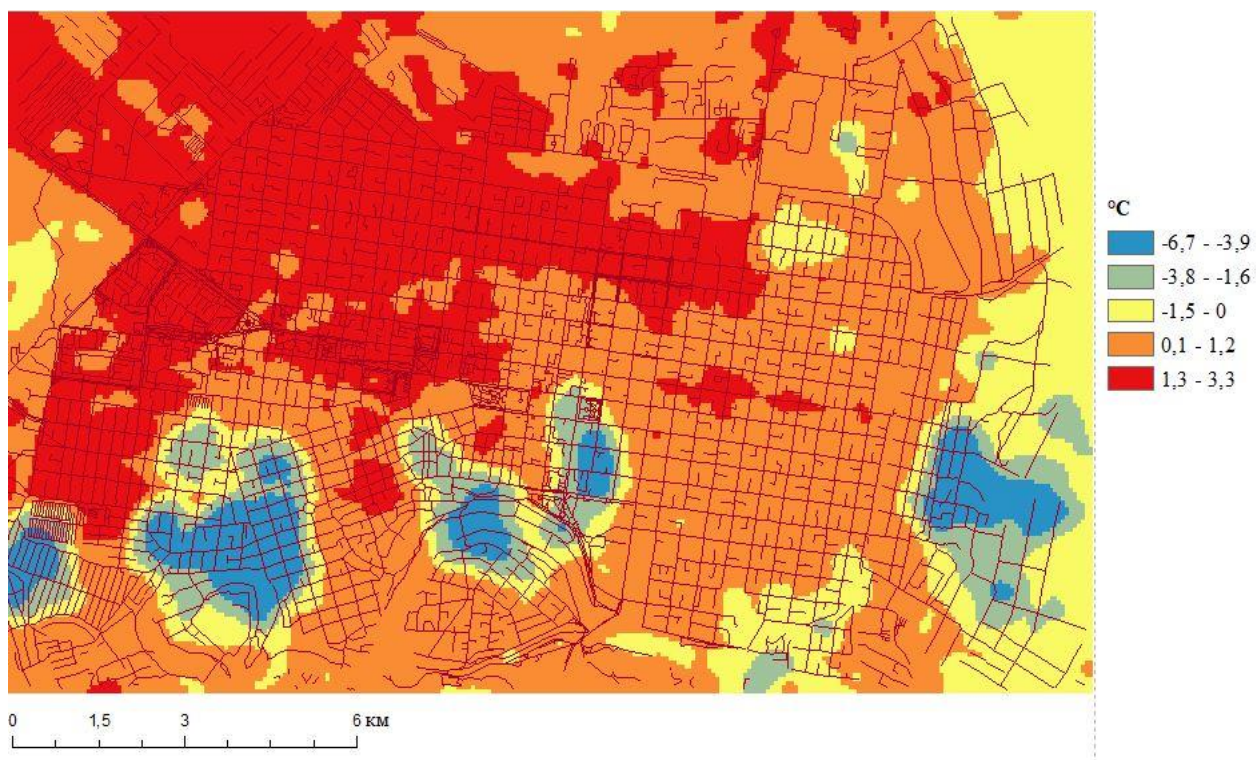


Рисунок 34 – Расчетная температура поверхности г. Майкопа  
25 февраля 2020 г. в 8:06.

Согласно расчетам 23 апреля 2020 г. (рисунок 35) температура имеет значения +15...+34 °С. В центральной части видно вертикально вытянутое пятно со значениями +28...+34 °С, обусловлено плотной застройкой. Р. Белая имеет значение +15...+21 °С.

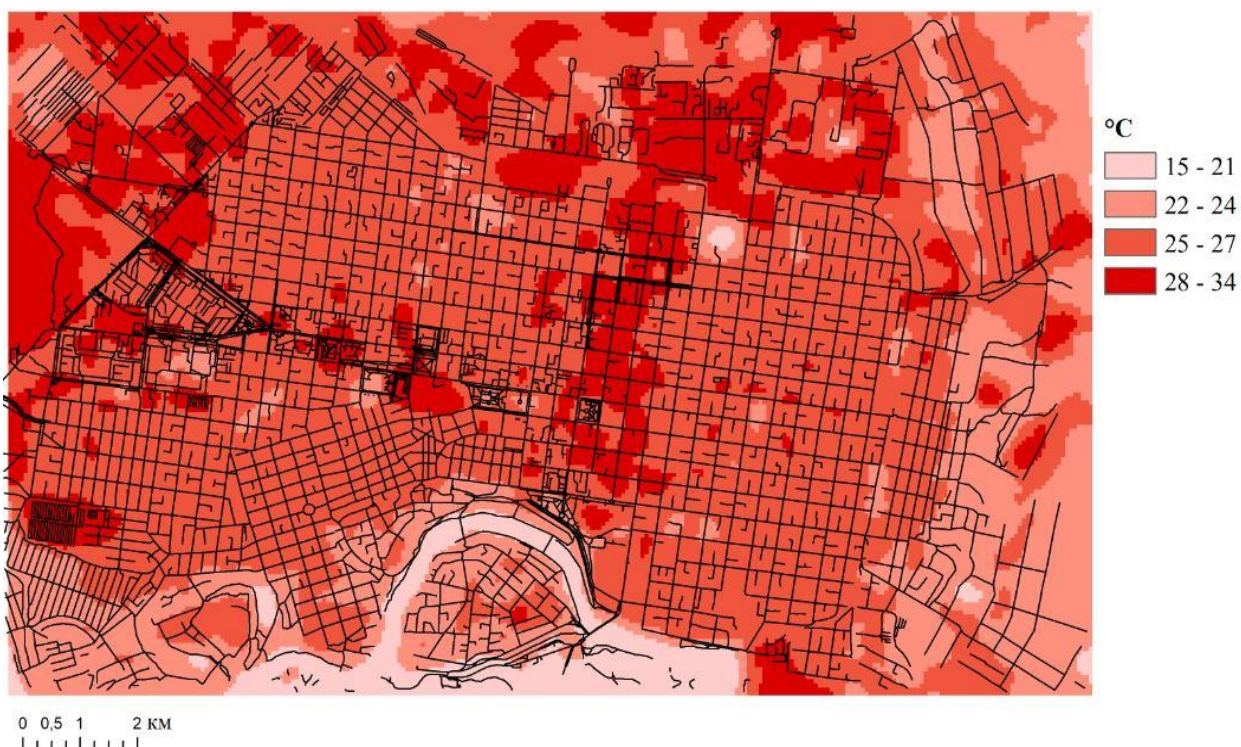


Рисунок 35 – Расчетная температура поверхности г. Майкопа  
23 апреля 2020 г. в 8:06.

По данным снимка зимой (рисунок 36) выделим ЗАО «Картонтара», Майкопский машиностроительный завод и Майкопский пивзавод. ЗАО «Картонтара» находится в пределах  $-4...-2$  °С, а парковка, в тоже время,  $-1$  °С. Майкопский машиностроительный завод и Майкопский пивзавод находятся в пределах  $-4...-2$  °С и  $-1...0$  °С соответственно.

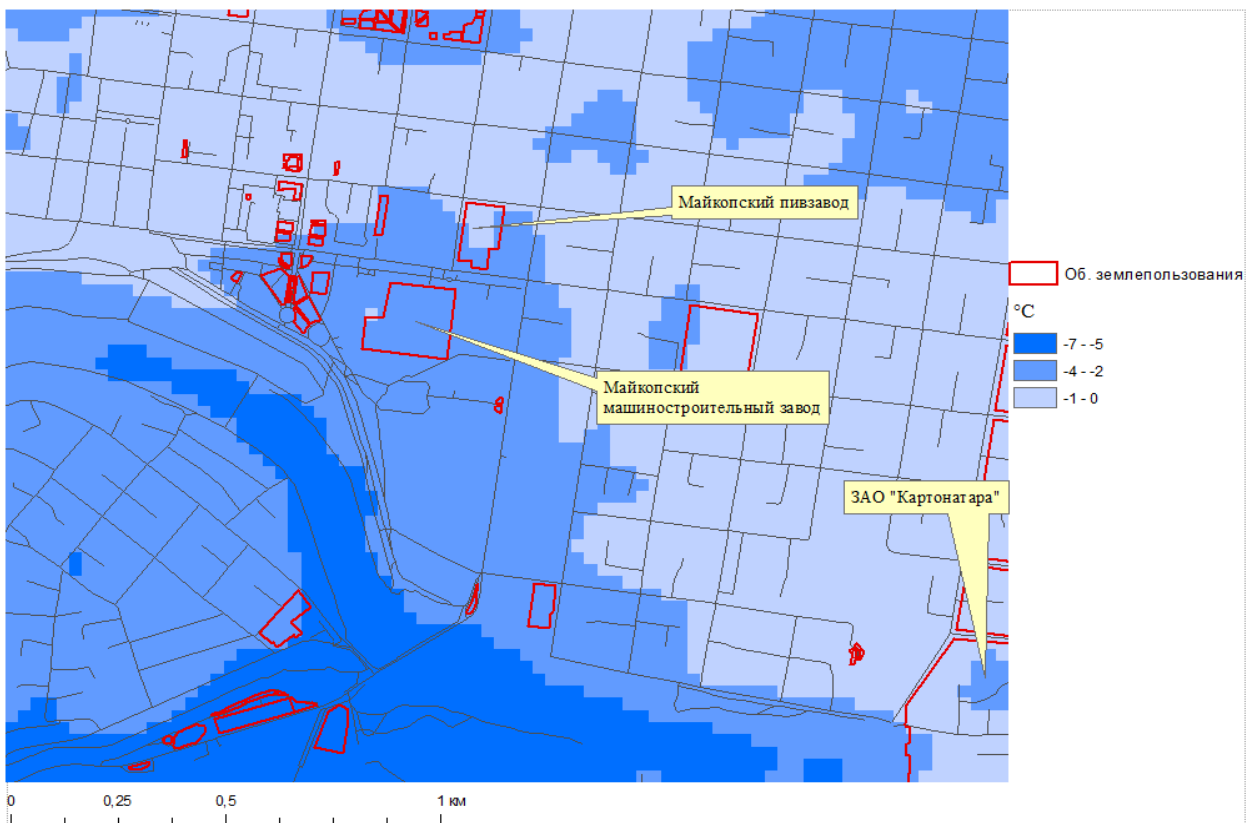


Рисунок 36 – Локальные эффекты распределения температуры г. Майкопа  
8 февраля 2018 г.

По данным снимка летом (рисунок 37) выделим объекты Майкопский машиностроительный завод, Питейный дом и ЗАО «Картонагара». Майкопский машиностроительный завод имеет значение  $+33...+34$  °С, Питейный дом в пределах от  $+30...+32$  °С, ЗАО «Картонагара» с идентичной температурой, как у машинного завода, это  $+33...+34$  °С.

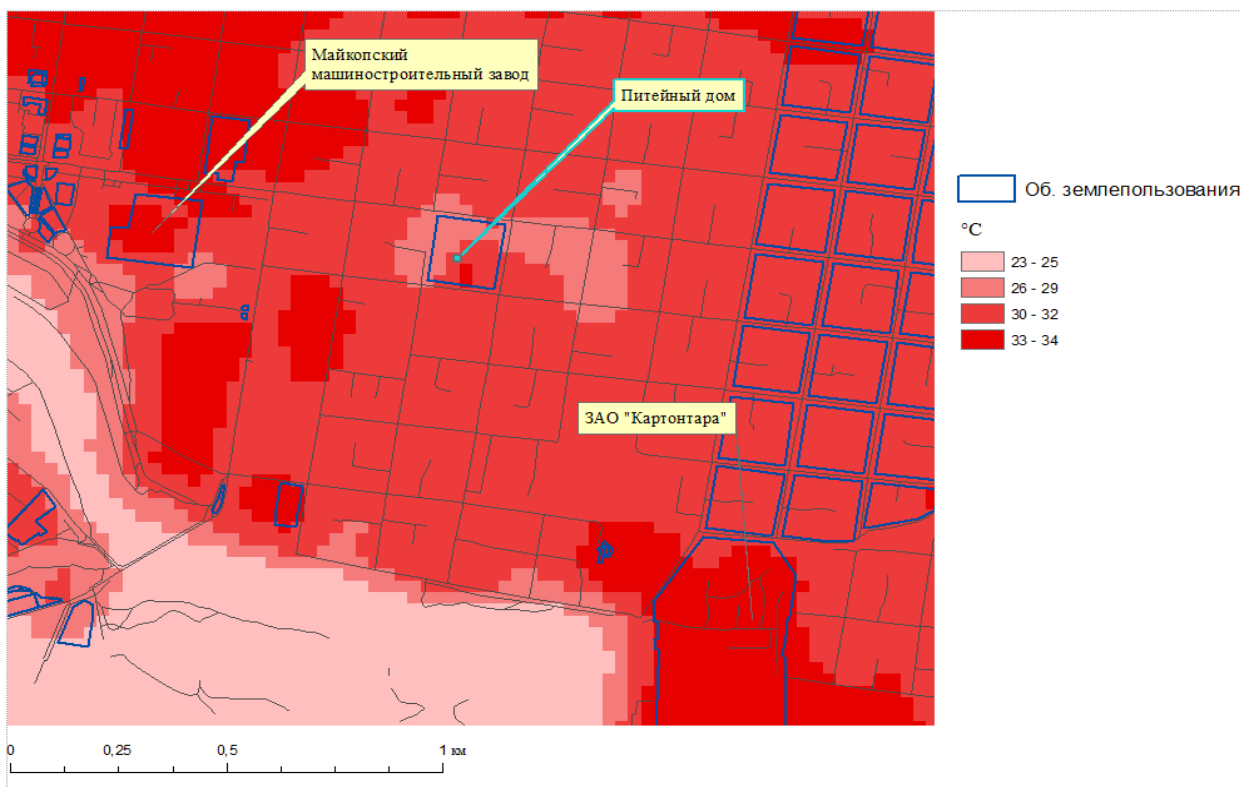


Рисунок 37 – Локальные эффекты распределения температуры г. Майкопа  
19 августа 2018 г.

По данной карте (рисунок 38) были выделены водные объекты и растительные насаждения. Водные объекты из-за своих не больших площадей находятся в диапазоне температур  $0...+2$  °C, как и растительные насаждения. Также на карте присутствуют артефакты, небольшие пятна с отрицательными температурами, что для начала апреля не свойственно.

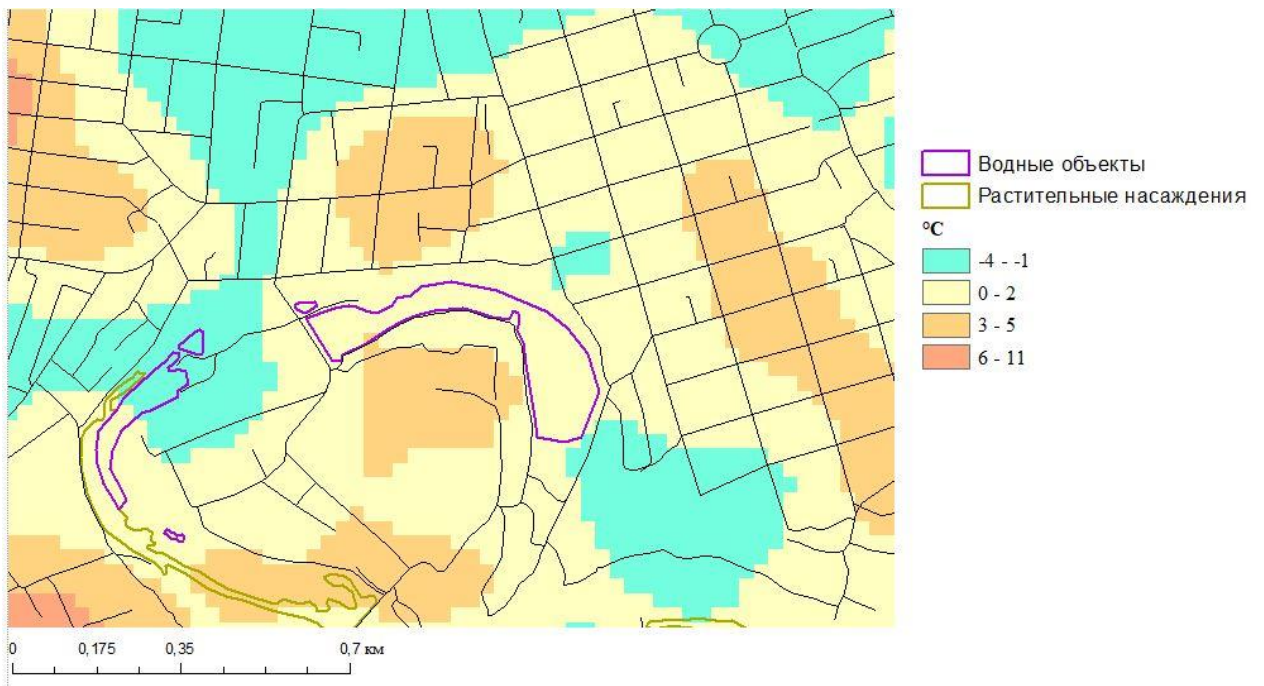


Рисунок 38 – Локальные эффекты распределения температуры г. Майкопа  
3 апреля 2019 г.

По данным снимка летом (рисунок 39) выделим объекты Майкопский машиностроительный завод и р. Белая. Здесь все закономерно с диапазоном температуры как для конца апреля. Майкопский машиностроительный завод имеет значение  $+28...+34$  °C. Р. Белой, как для водного объекта, соответствует температура  $+15$  °C.



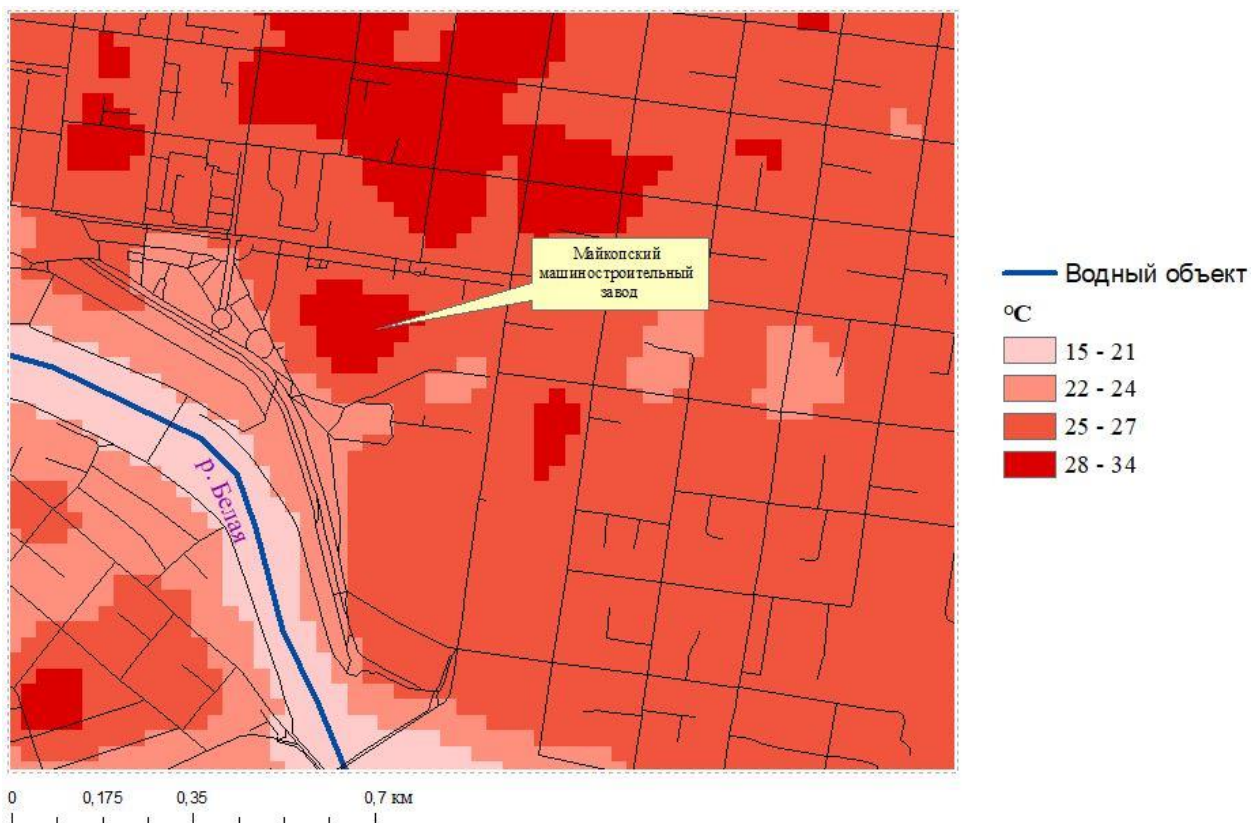


Рисунок 39 – Локальные эффекты распределения температуры г. Майкопа  
23 апреля 2020 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенной работы были получены оценки температуры физической поверхности городов Краснодара и Майкопа. Если для Краснодара такого рода исследования ранее выполнялись сотрудниками Кубанского государственного университета [9, 10] и МГУ [1], то для Майкопа построение и анализ тепловых полей выполнен впервые.

Установлены структурные особенности теплового поля в летнее, зимнее и весеннее время, а также пределы изменчивости температуры городской поверхности. Были выявлены тепловые аномалии в масштабе городов, так и внутригородских (локальные) выступающие с различными знаками.

В зимнее время г. Краснодара отчетливо видно, что температура поверхности внутри города выше на  $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , чем поверхность периферии. Зафиксированы положительные аномалии, образованные антропогенными потоками тепла в районе ТЭЦ (р. Старая Кубань). В тоже время над городскими озерами формируются отрицательные тепловые аномалии.

В летнее время г. Краснодара на всей исследуемой территории острова тепла располагаются небольшими пятнами, что связано с расположенными антропогенными объектами. Так, ТРЦ «Галактика» имеет значение  $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , в то время прилегающая территория находится в пределах  $+33\dots+37\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

В весеннее время г. Краснодара в центральной части тепловые аномалии увеличили свои значения на  $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , по сравнению с летним. Также увеличилась температура за пределами города.

В зимнее время г. Майкопа, температура периферии ниже на  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , чем в самом городе. Также в центральной части отчетливо видна вытянутая линия с температурой  $-4\dots-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

В летнее время г. Майкопа прорисовывается такой же рисунок температуры, как и в зимнее время. Только значения периферии  $+33\dots+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В центральной части вытянутая линия приняла значения  $+33\dots+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Можно сделать вывод, что острова тепла в г. Краснодар и г. Майкоп формируются под влиянием антропогенных объектов. Для полного моделирования городского климата необходимы карты, отражающие застройки и их высоту.

Полученные результаты закладывают основы для последующих углубленных объяснений и интерпретаций (геоэкологических, медицинских и пр.) городских термических полей исследованных городов.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Балдина, Е. А. Использование космических снимков в тепловом инфракрасном диапазоне для географических исследований. Изучение городского острова тепла на примере Москвы / М. Ю. Грищенко, Ю.В. Федоркова. 2015. – 3 с.
2. Благовещенский, Е. В. Изучение динамики береговой линии Балтийского моря в районе Куршской косы с использованием спутниковой информации. / Е. В. Благовещенский. – Санкт-Петербург: 2016. – 24 с.
3. Благовещенский, Е. В. Изучение динамики береговой линии Балтийского моря в районе Куршской косы с использованием спутниковой информации. / Е. В. Благовещенский. – Санкт-Петербург: 2016. – 22 с.
4. Благовещенский, Е. В. Изучение динамики береговой линии Балтийского моря в районе Куршской косы с использованием спутниковой информации. / Е. В. Благовещенский. – Санкт-Петербург: 2016. – 18 с.
5. Грищенко М. Ю. Тепловое поле Краснодара и его сезонная изменчивость: выявление по снимкам со спутника Landsat-8. / М.Ю. Грищенко, Л. С. Калитка. 2018. – 7 с.
6. Куртушин, Н. А. Применение спутниковых данных Landsat в задачах дистанционного зондирования. / Н. А. Куртушин, С. Ю. Чупин. 2015. – 1 с.
7. Константинов, П. И. Картографирование островов тепла городов Заполярья по совмещенным данным полевых измерений и космических снимков на примере г. Апатиты (Мурманская область). / П. И. Константинов, М. Ю. Грищенко, М. И. Варенцов. 2015. – 27-33 с.
8. Мирнова, А. В. Теплопотери и тепловое загрязнение. Атлас космические методы геоэкологии. / А. В. Мирнова, Т. Г. Перцева ; Географический факультет МГУ – Москва: 1998. – 98 с.
9. Мирнова, А. В. Теплопотери и тепловое загрязнение. Атлас космические методы геоэкологии. / А. В. Мирнова, Т. Г. Перцева ; Географический факультет МГУ – Москва: 1998. – 99 с.

10. Погорелов, А. В. Тепловой портрет города Краснодара по данным спутниковых снимков. / А. В. Погорелов, Д. А. Липилин ; Прикладная экология – Краснодар: 2016. – 32 с.
11. Погорелов, А. В. Тепловой портрет города Краснодара. Поиск тепловых аномалий / А. В. Погорелов, Д. А. Липилин ; Изд-во КубГУ. Вып. 10. 2016. – 219-231 с.
12. Плагин RS&GIS\_V17.0 – QGIS.
13. Frank van der Hoeven. «Hotterdam», mapping the Rotterdam Urban Heat Island. / Frank van der Hoeven, Alexander Wandl. 2015. – 145 с.
14. Gartland L. Heat islands / L. Gartland. London. 2008. – 15 с.
15. Hung T. Assessment with satellite data of the urban heat islands effects Asian mega cities. T. Hung, D. Uchiyama, S. Ochi. 2006. – 34-48 с.
16. Kai L. Analysis of the Urban Heat Island effect in Shijiazhuang, China Using Satellite and Airborne Data / L. Kai, S. Hongbo, Z. Lifu. 2015. – 10 с.
17. Kai L. Analysis of the Urban Heat Island effect in Shijiazhuang, China Using Satellite and Airborne Data / L. Kai, S. Hongbo, Z. Lifu. 2015. – 11 с.
17. Simmon R. Urban Heat Island: Baltimore, MD. NASA images based on data from the National Cover Database and Landsat-7 / R. Simmon. 2008. – 1 с.