



**X Всероссийская конференция с международным участием
«Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и
антропогенных процессов» (SDM-2025),
посвященная памяти академика Ю.И. Шокина**

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

Гостева А.А., Матузко А.К., Якубайлик О.Э.

Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр
Сибирского отделения Российской академии наук», г. Красноярск

Институт вычислительного моделирования СО РАН, г. Красноярск

г. Белокуриха, Алтайский край, Россия

Введение

Современные спутниковые системы содержат информацию о температуре поверхности Земли, но есть сложности применения этих данных, так как они требуют дополнительной обработки, пользовательского опыта, занимают много дискового пространства. Более пяти лет наш коллектив изучает эту тематику. Полученный опыт по вычислению корректной температуры поверхности со спутниковых аппаратов, позволяет говорить о повторяющихся операциях, которые есть возможность автоматизировать. По этой причине была поставлена задача автоматизации при получении температуры поверхности Земли.

Источники данных

Для определения температуры поверхности Земли используются открытые источники спутниковых данных:

Landsat 8/9 Collection 2 Level 2 (L2SP)

- Данные с 2013 года
- 100 сцен
- Пространственное разрешение 100 м

MODIS (MOD11A2)

- Данные с 2000 года
- 1000 сцен
- Пространственное разрешение 1000 м

Определение температуры поверхности Земли

Основные группы повторяющихся операций, хорошо подходящих для автоматизации определения температуры поверхности.



Ручная Обработка

Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) в QGIS. Трудоемко и подвержено ошибкам.



Геомодели QGIS

Модуль "The model designer". Хорошо для однотипных данных, но подходит только опытным пользователям.



Пакетная Обработка (BAT)

Скрипты GDAL через BAT-файлы для больших массивов данных.



Программное обеспечение

Разработка собственного программного обеспечения для автоматизации.

Пакетная обработка спутниковых снимков

Исходные данные

1

MODIS (MOD11A2) – это один из продуктов, полученных со спектрорадиометра MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), установленного на спутниках Terra и Aqua.

Характеристики:

2

- Температура поверхности Земли
- Пространственное разрешение: 1 км
- Временное: 8 дней (усреднённые данные)
- Формат: HDF (Hierarchical Data Format)
- Покрытие: Глобальное

Объем данных

3

- Около 44 снимков в год
- С 2000 года на одну территорию больше 1000 сцен
- Размер папки на один год около 400 мб

Задачи автоматизации

4

- Формат HDF необходимо преобразовать в GeoTIFF
- Выделить область интереса на каждом снимке

Пакетная обработка данных

5

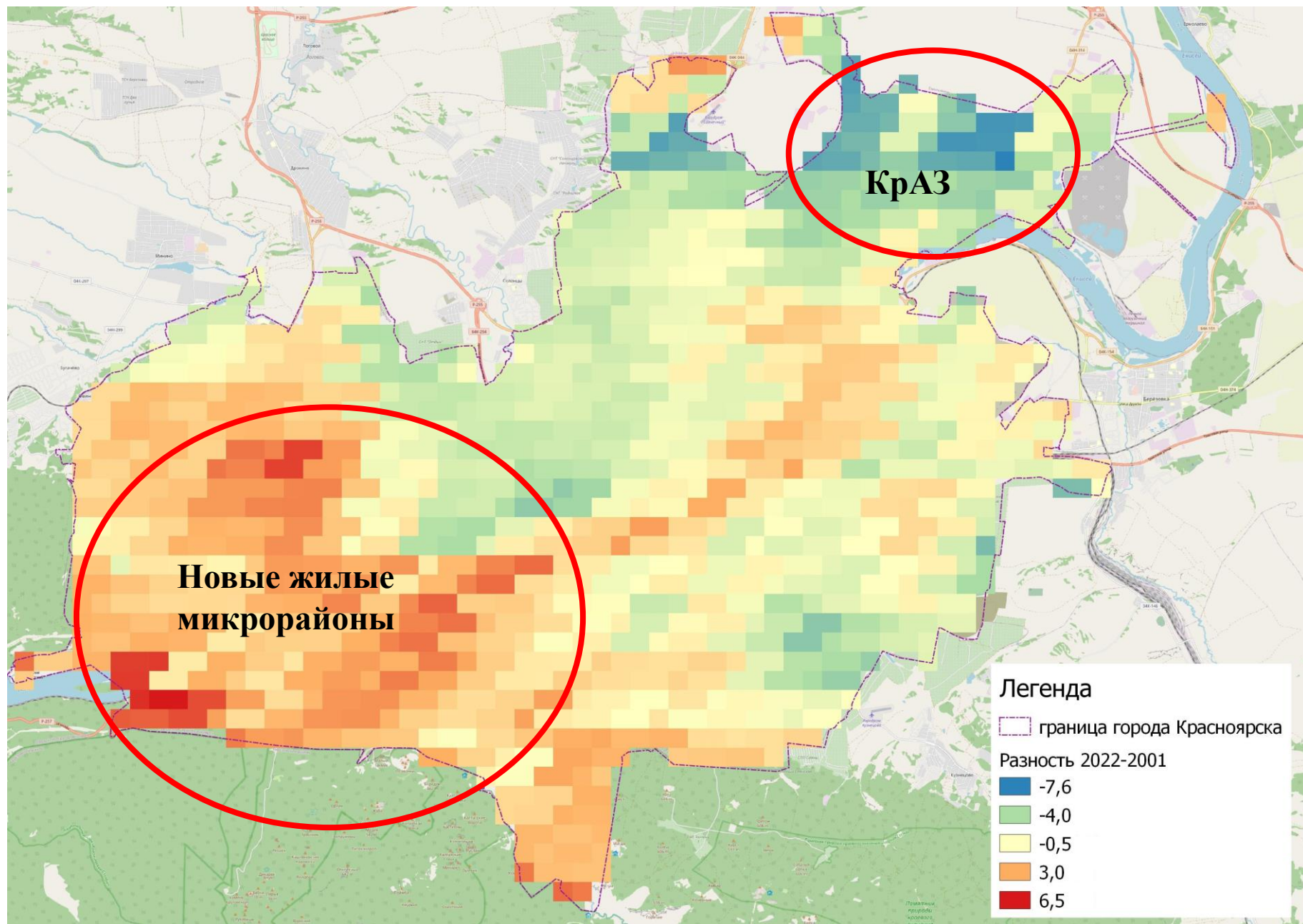
Создание *.bat файла

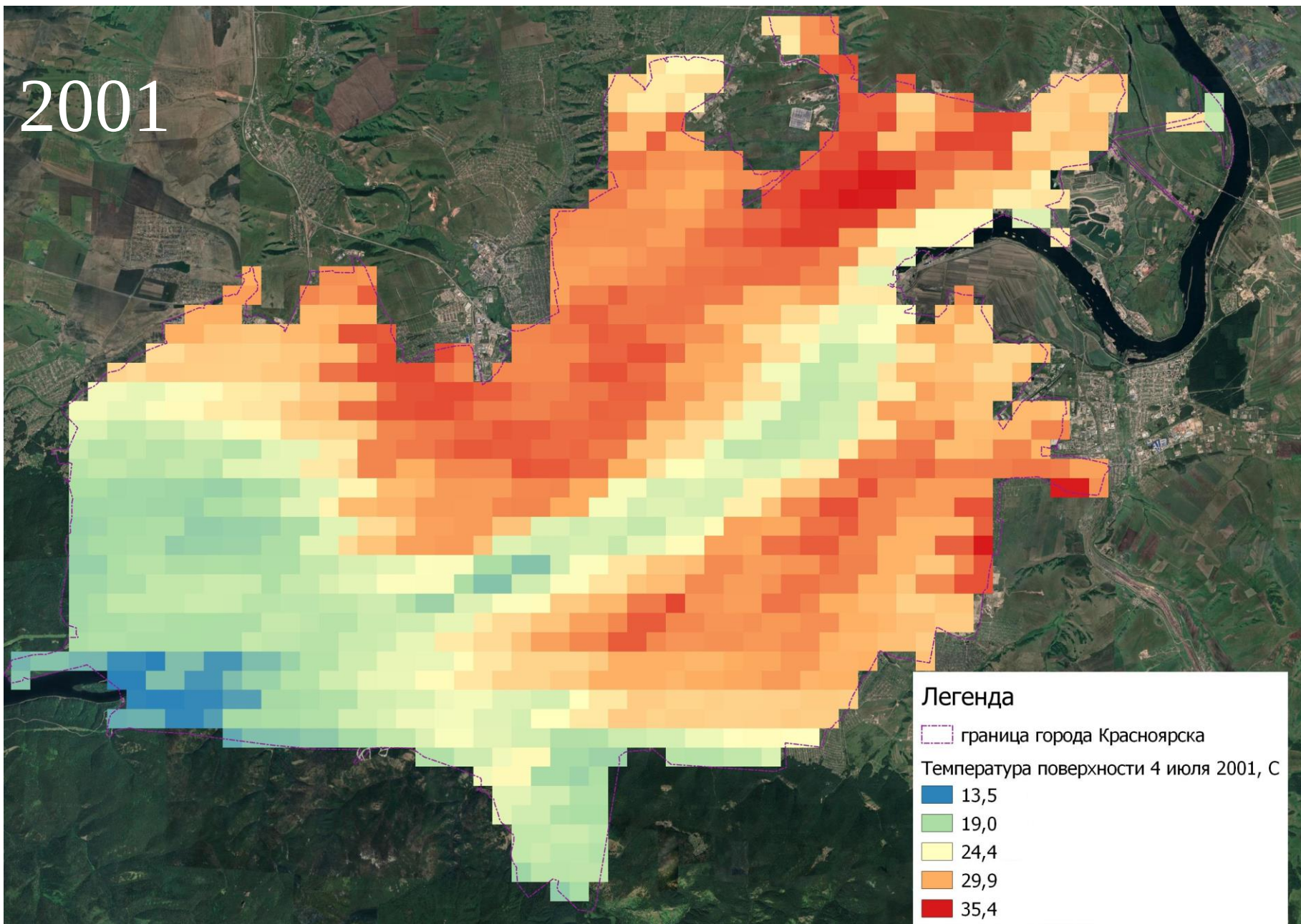
- Формирование каталога по годам
- Перевод из HDF в GeoTIFF
- Обрезка выбранной территории

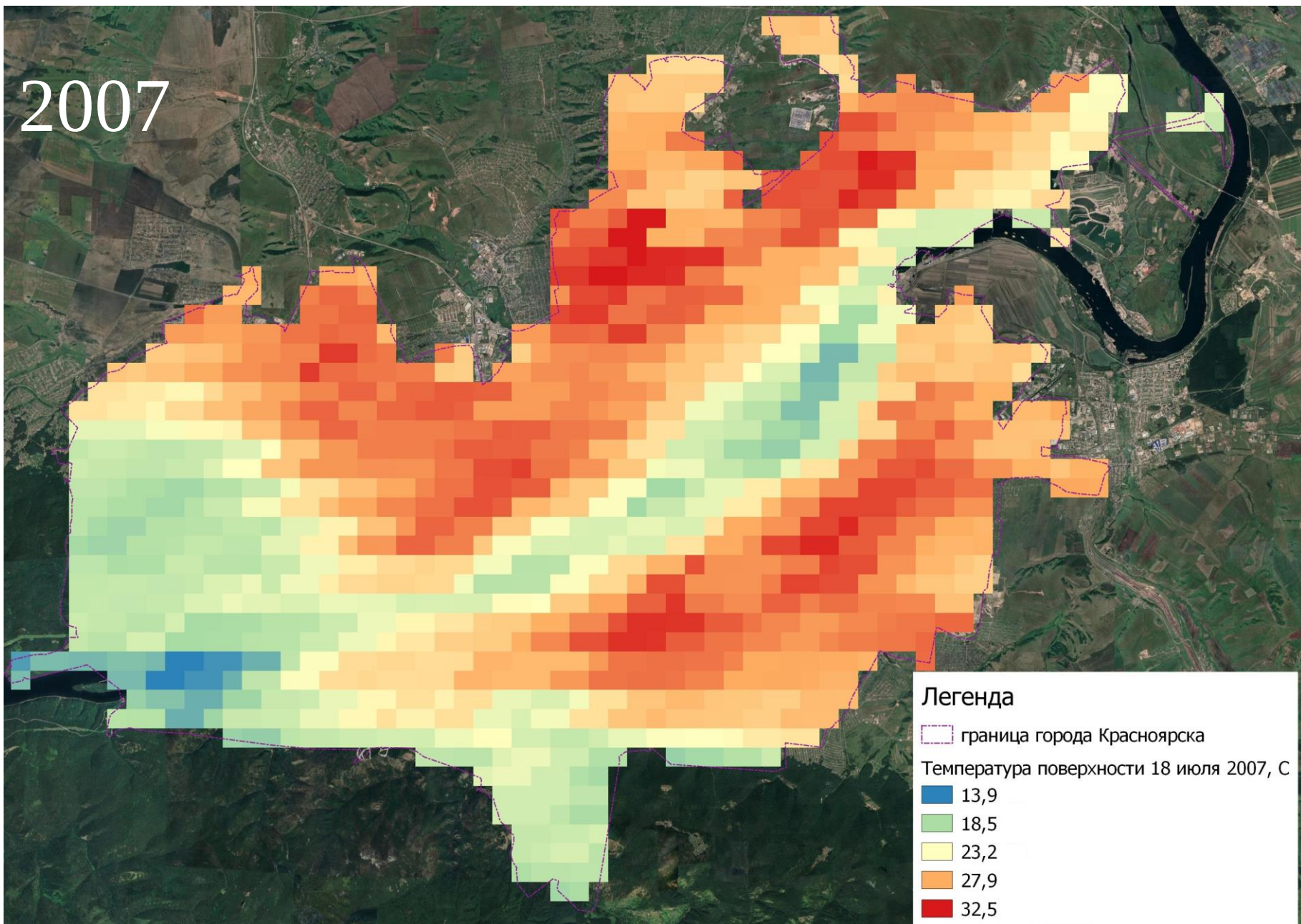
Результат

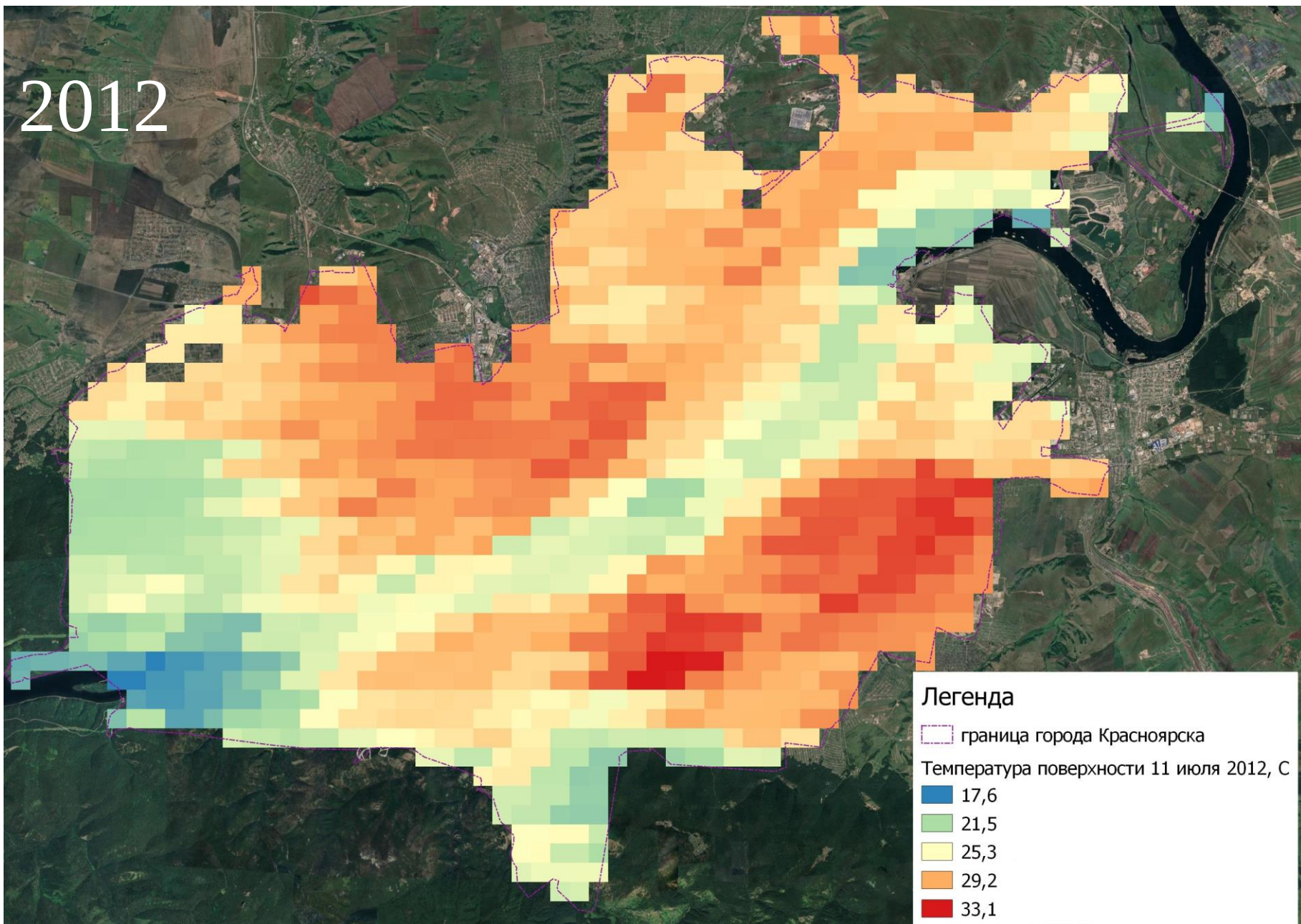
6

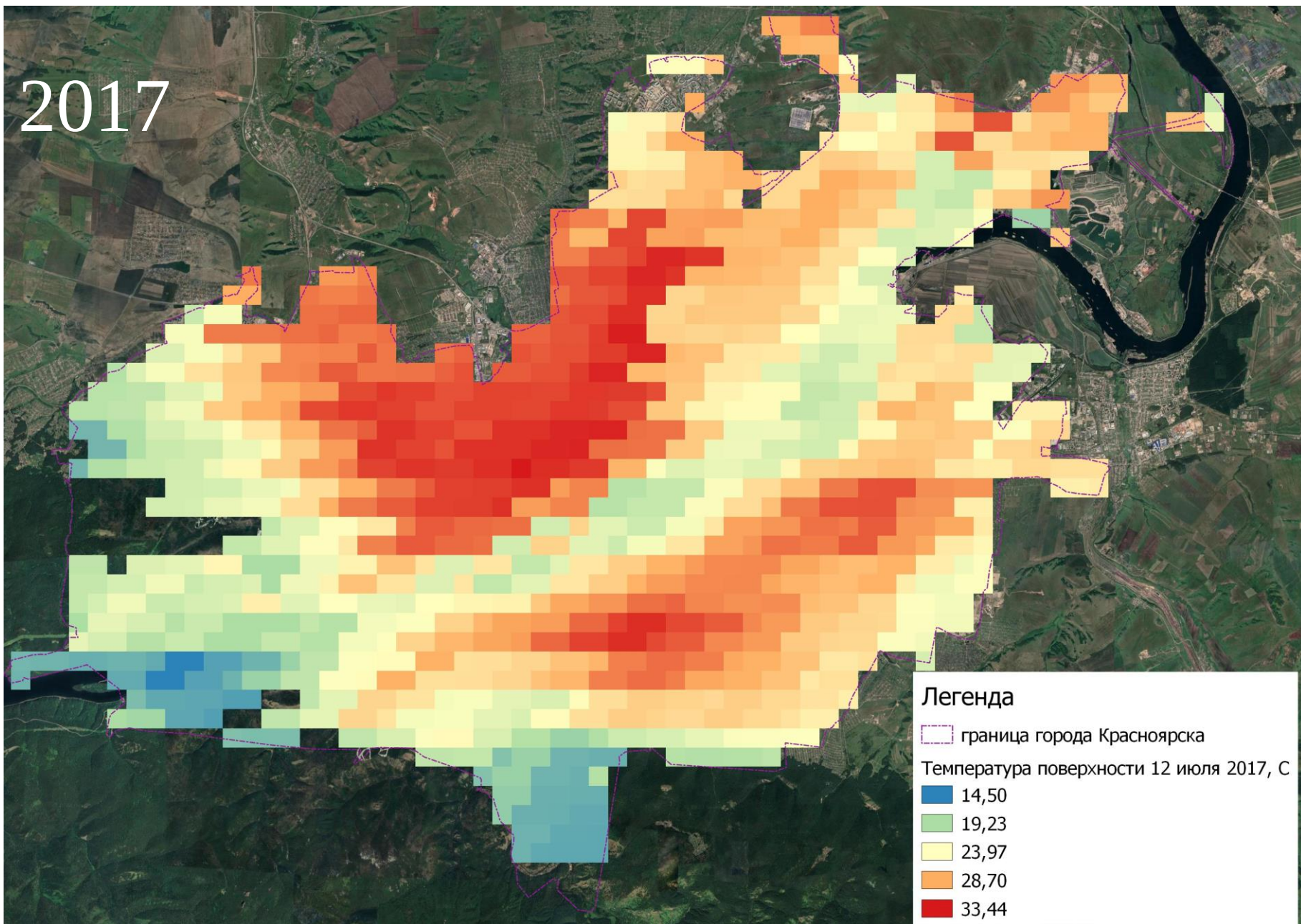
- ✓ Создан каталог данных с 2000 года
- ✓ Сокращен размер файлов
- ✓ Возможность обрабатывать данные в QGIS

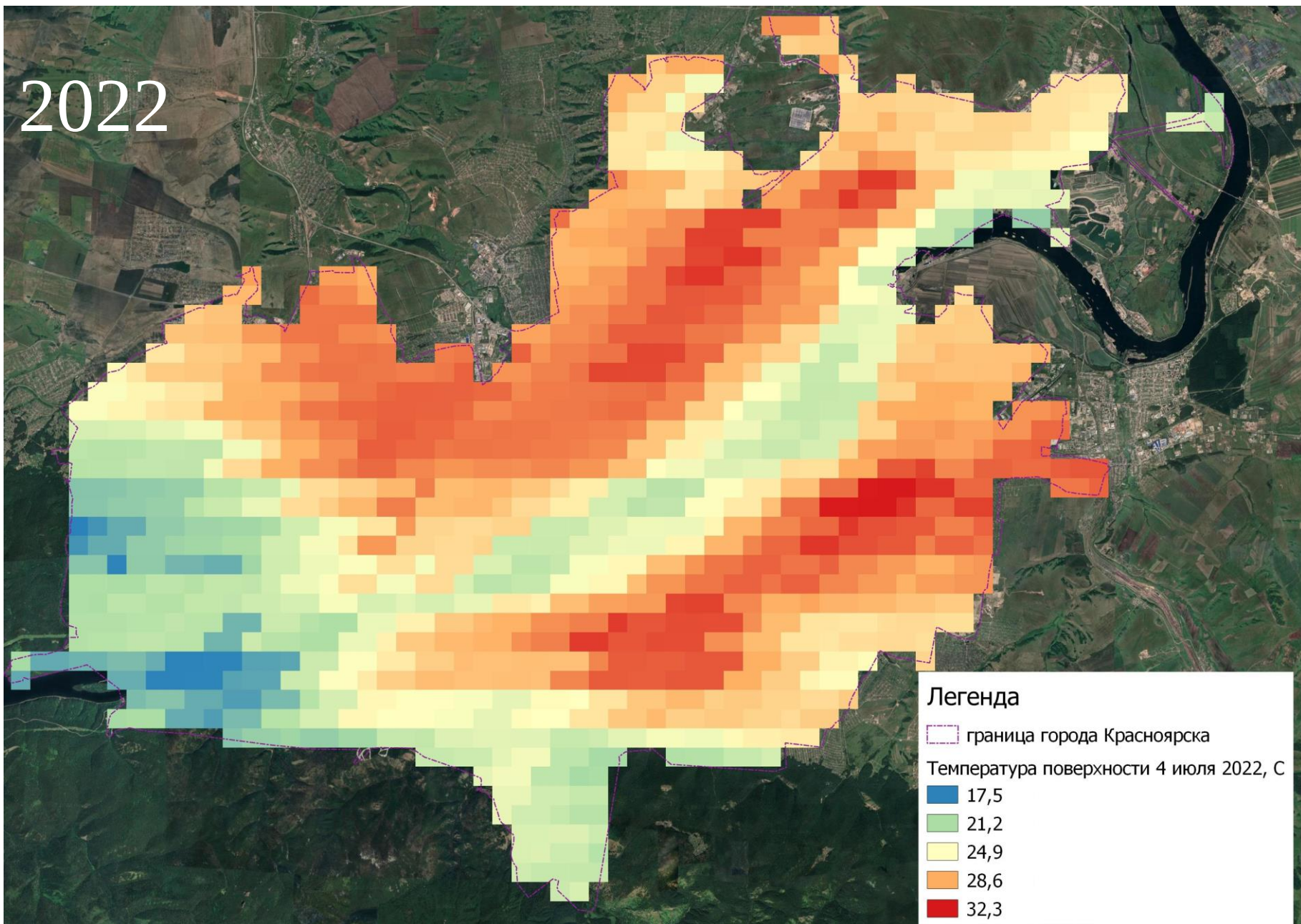












Вычисление температуры поверхности

1

Определение коэффициента излучения

2

Классификация
поверхности по
снимку

Вычисление на
основе NDVI

Определение влияния атмосферы

3

Калькулятор атмосферных
параметров*

*<https://atmcorr.gsfc.nasa.gov/>

Доступен уровень
обработки Level 1

2013

Миссия Landsat 8/9

Доступен уровень
обработки Level 2

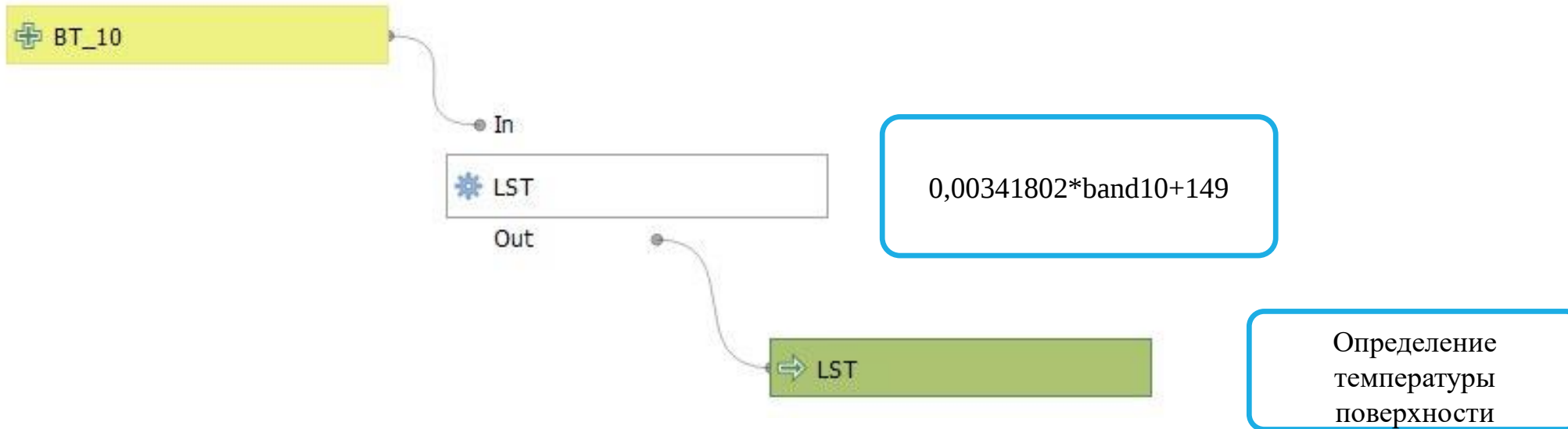
2021

Атмосферные параметры
и
температура поверхности

Автоматизация обработки с помощью геомодели в QGIS

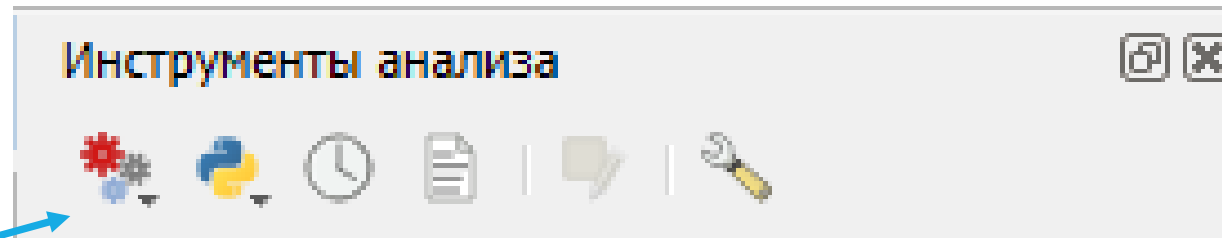
Данные Landsat 8-9
Level 2 Collection 2

Геомодель является цепью операций, которые упакованы в одну большую, активируемую одной кнопкой операцию, и выглядеть она будет как плагин в QGIS.



Геомодели QGIS

Для того, чтобы создавать геомодели в QGIS, мы будем использовать модуль **"The model designer"** или **"редактор моделей"**. Найти его можно во вкладке "Анализ данных" ("Processing").



Вход (input) — это те данные, которые мы подаем в модель изначально. Они нужны для того, чтобы алгоритмы модели сработали. Например, если мы хотим посчитать площадь, периметр и отношение между периметром и площадью каких-либо территорий, то обязательным входом (input) будет слой с этими территориями, потому что без него непонятно, площадь чего мы вообще будем считать

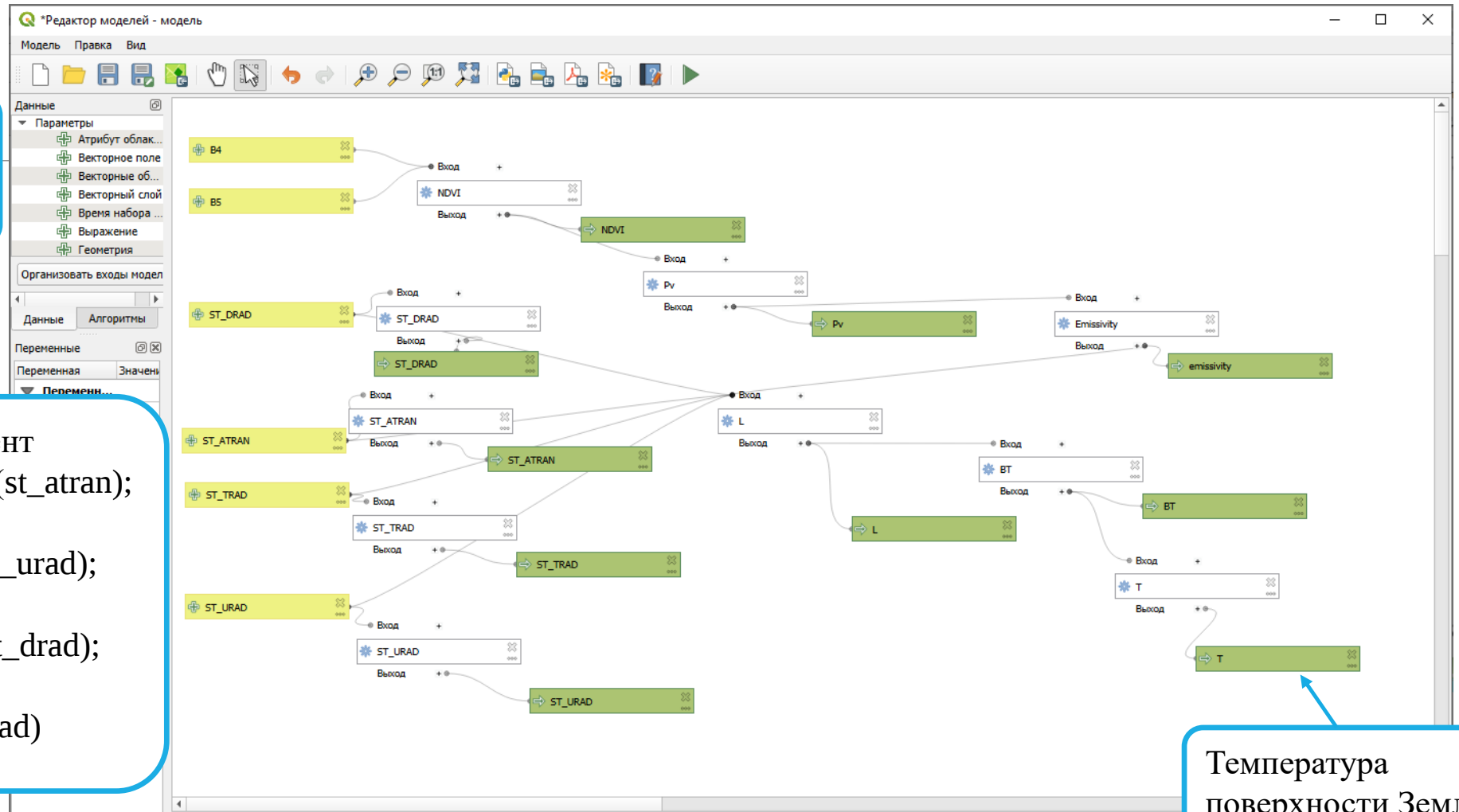
Алгоритмы (algorithms) — это функции и операции, которые мы выполняем. Ими могут быть построение буферов, разность, обрезка по маске или какие-либо вычисления, которые делаются через калькулятор полей. Алгоритмов может быть много, главное, чтобы данные, которые вы подаете на входе (input) позволяли их выполнить.

Под выходом (output) подразумевается либо результат работы модели, либо результат работы отдельного алгоритма. Ими могут быть дополнительные колонки в таблице атрибутов слоя, растровый слой с новыми параметрами или любой новый слой или группа слоев.

Реализация геомодели по определению температуры поверхности

Входные данные
для определения
NDVI: ρ_{NIR} , ρ_{Red}

спектральный коэффициент
пропускания атмосферы (st_atran);
восходящее излучение (st_urad);
нисходящее излучение (st_drاد);
тепловое излучение (st_trad)



Температура
поверхности Земли

Выполнение геомодели по определению температуры поверхности

Заполнение входных
данных

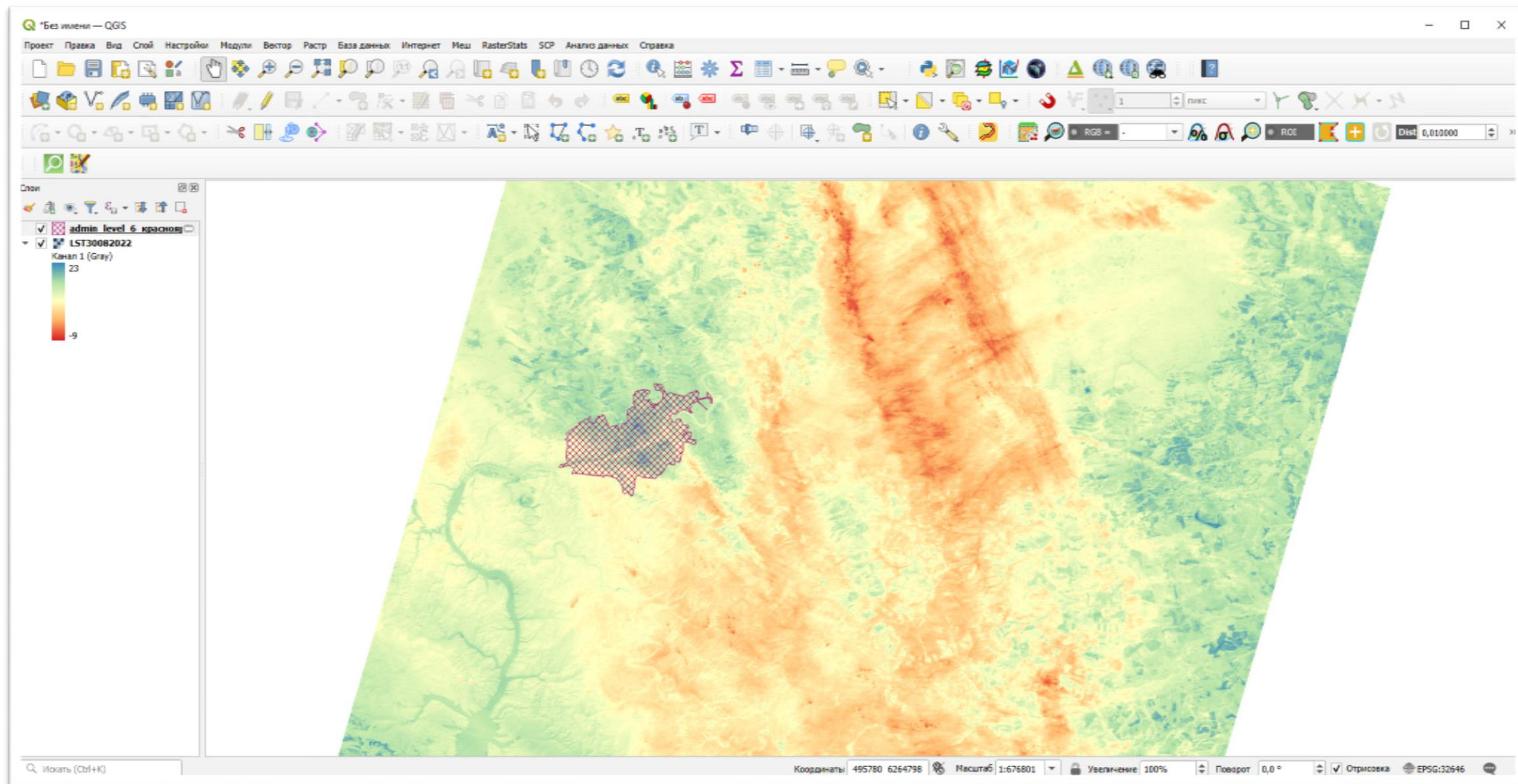
Сохранение
результатов

The screenshot shows a software window titled 'модель' (model) with two tabs: 'Параметры' (Parameters) and 'Журнал' (Log). The 'Параметры' tab is active, displaying a list of input parameters for a geospatial model. Each parameter has a text input field and a dropdown menu to its right.

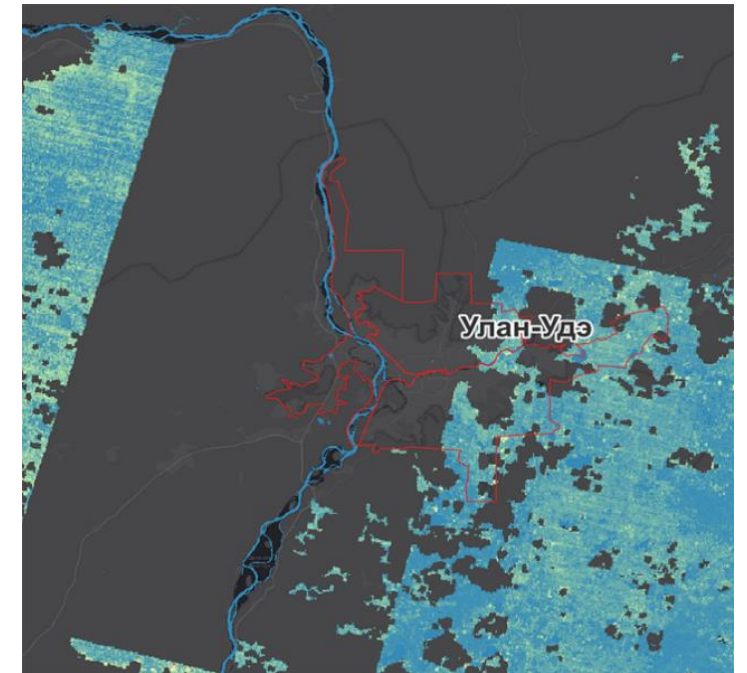
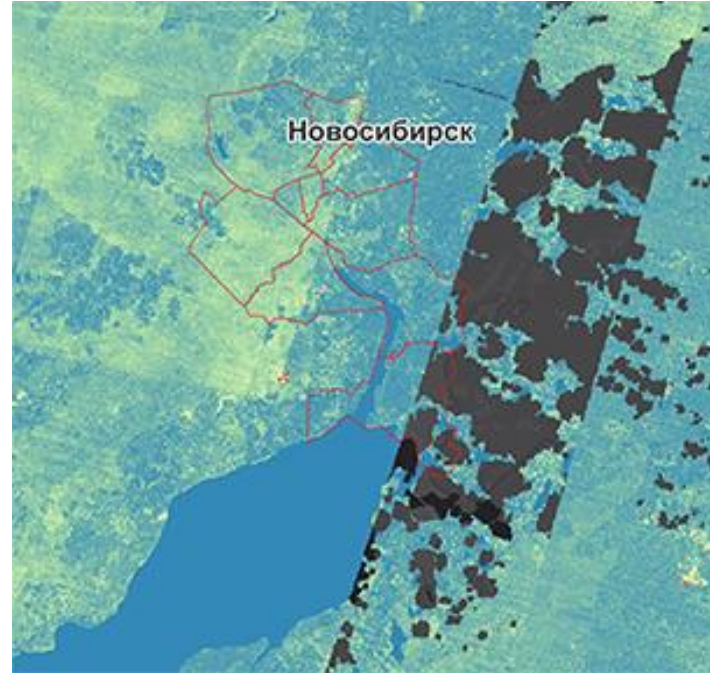
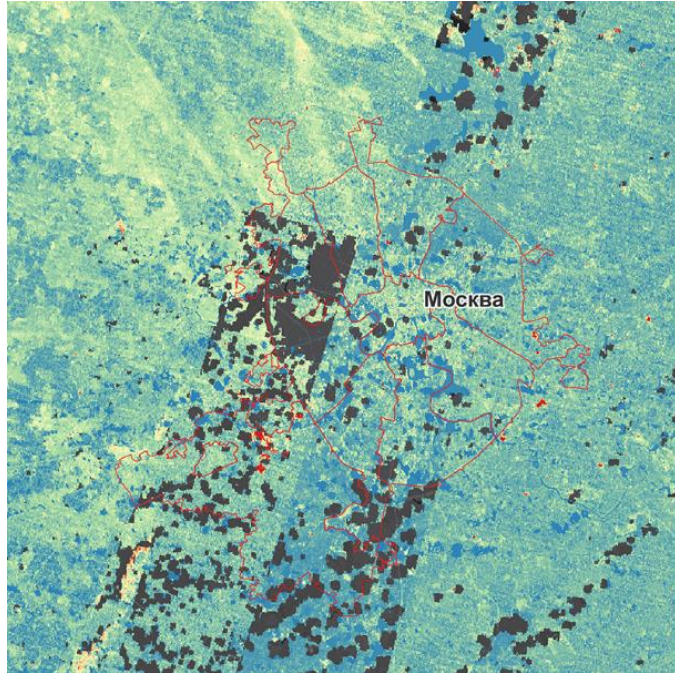
- B4**: LC08_L2SP_142021_20210710_20210720_02_T1_SR_B4_4e20c757_d312_4234_8cbf_a6c71ee4a91d
- B5**: LC08_L2SP_142021_20210710_20210720_02_T1_SR_B5_a4736bf3_b734_4028_8399_2c867ebae990
- ST_ATRAN**: LC08_L2SP_142021_20210710_20210720_02_T1_ST_ATRAN_30e0d515_a293_4b78_9254_5351dbb32c19
- ST_DRAD**: LC08_L2SP_142021_20210710_20210720_02_T1_ST_DRAD_0009d3b2_2835_41e6_a639_2c4ffac42df
- ST_TRAD**: LC08_L2SP_142021_20210710_20210720_02_T1_ST_TRAD_9bf07b1b_6b81_4eec_b53e_5a5c62d50853
- ST_URAD**: LC08_L2SP_142021_20210710_20210720_02_T1_ST_URAD_340dcad1_4f2a_4df8_bf0f_d98ab3e1adaf
- ST_DRAD**: [Сохранить во временный файл]
- ☒ Открыть выходной файл после завершения алгоритма
- NDVI**: [Сохранить во временный файл]
- ☒ Открыть выходной файл после завершения алгоритма
- emissivity**: [Сохранить во временный файл]
- ☒ Открыть выходной файл после завершения алгоритма
- L**: [Сохранить во временный файл]
- ☒ Открыть выходной файл после завершения алгоритма
- BT**: [Сохранить во временный файл]
- ☒ Открыть выходной файл после завершения алгоритма
- T**: [Сохранить во временный файл]
- ☒ Открыть выходной файл после завершения алгоритма
- Pv**: [Сохранить во временный файл]

At the bottom of the window, there is a progress bar showing 0%, a progress percentage input field, and buttons for 'Отменить' (Cancel), 'Выполнить' (Execute), and 'Закрыть' (Close). There are also buttons for 'Дополнительно' (Advanced) and 'Запустить в пакетном режиме...' (Run in batch mode...).

Результат

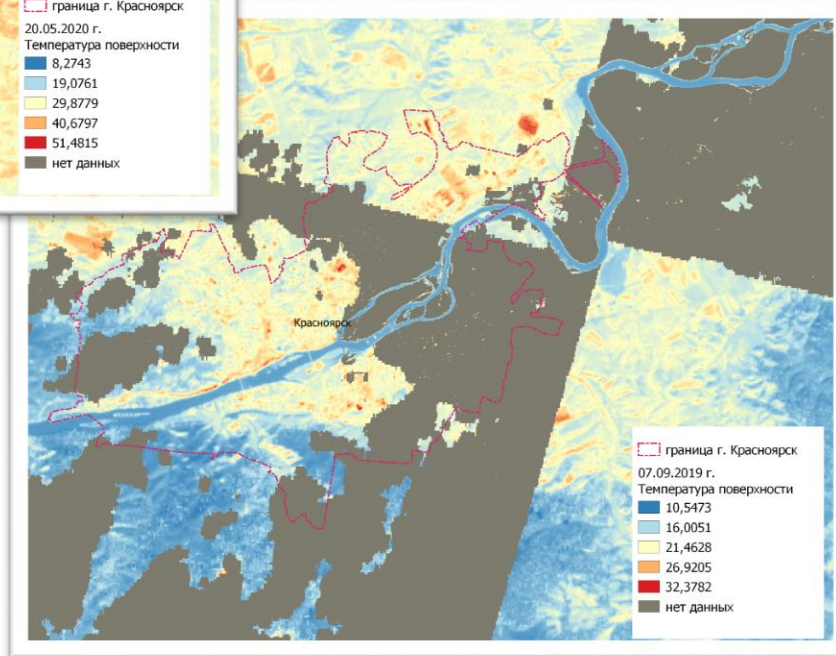
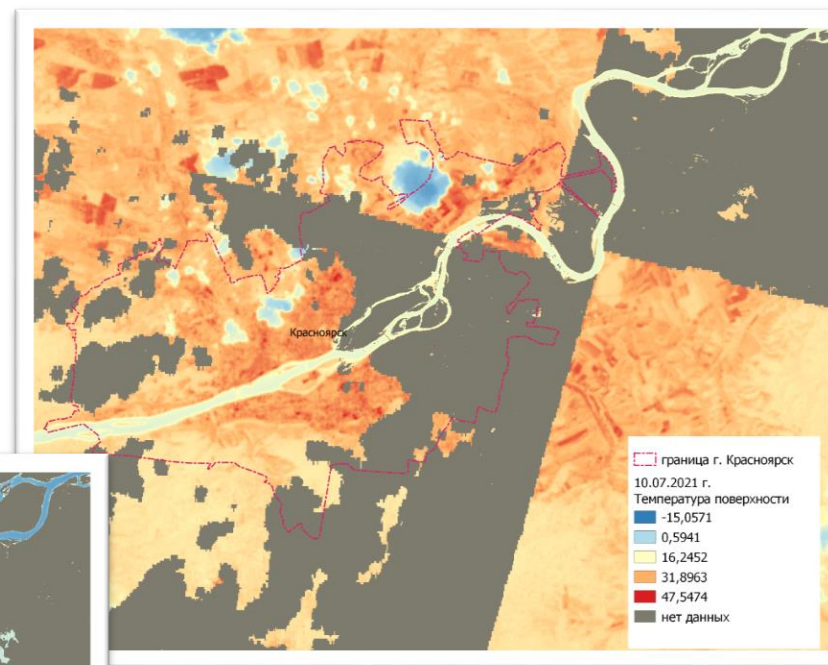
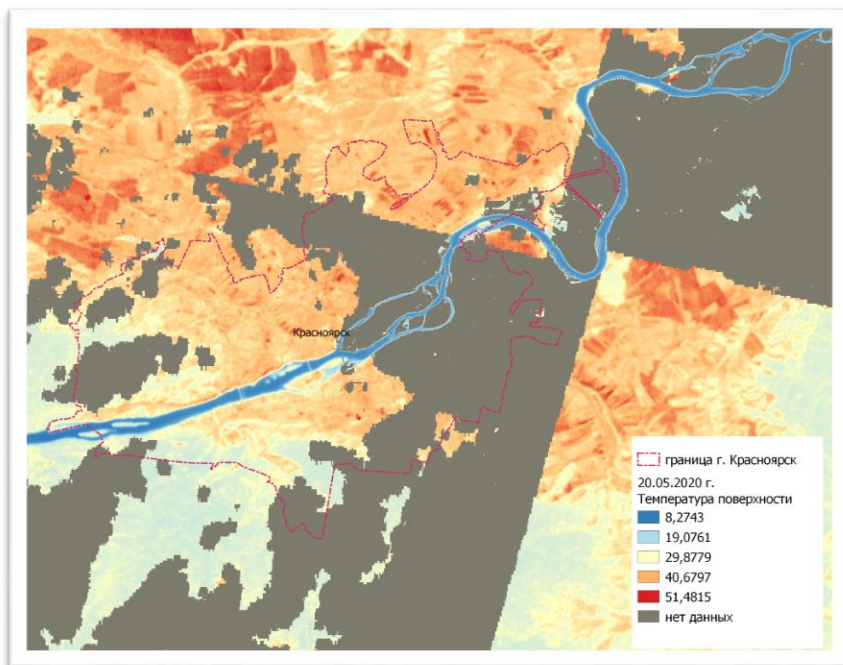


Сложности применения тепловых космических снимков



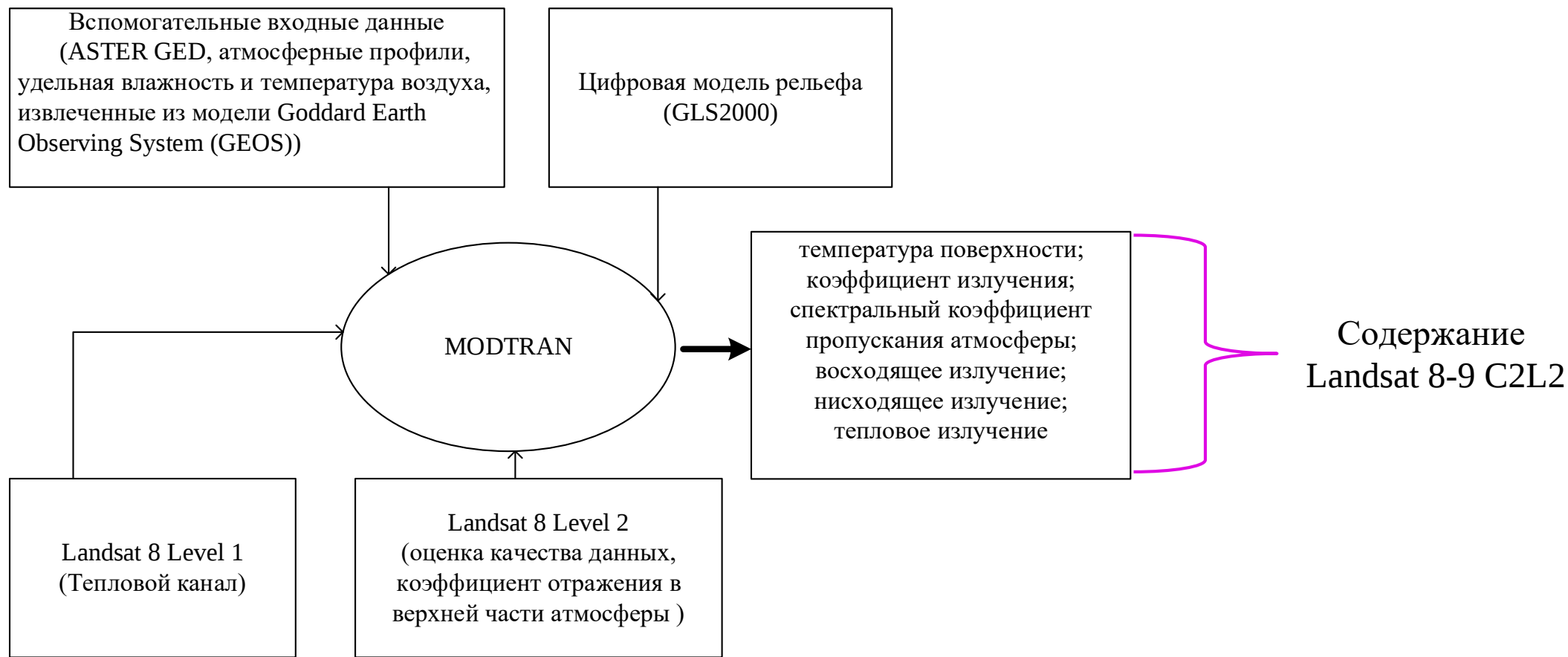
Рассмотрев несколько российских городов было обнаружено отсутствие цельного покрытия данными.

Сложности применения тепловых космических снимков



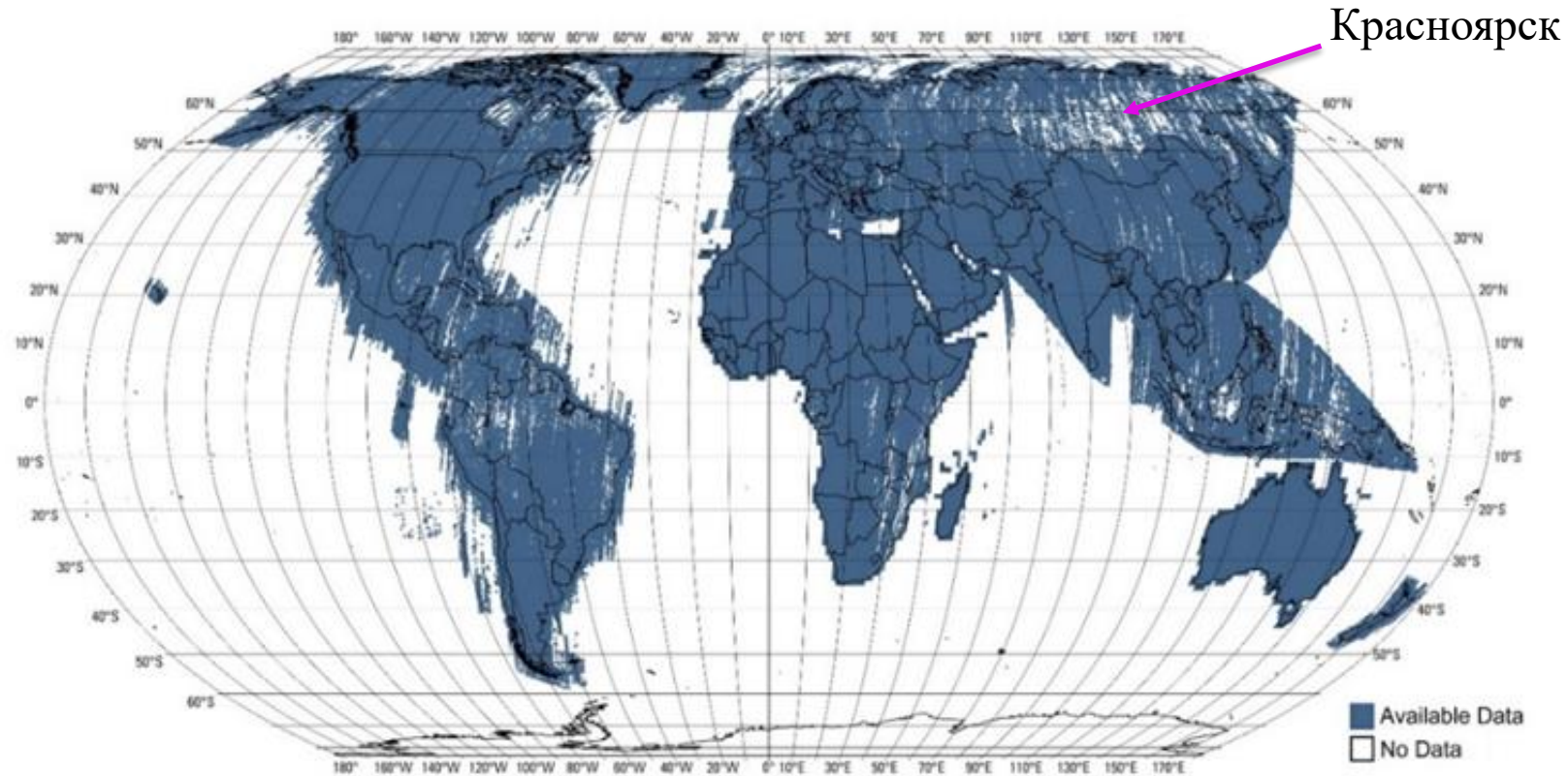
На территорию города Красноярска
отсутствие данных около 25%.

Landsat 8-9 Collection 2 Level 2



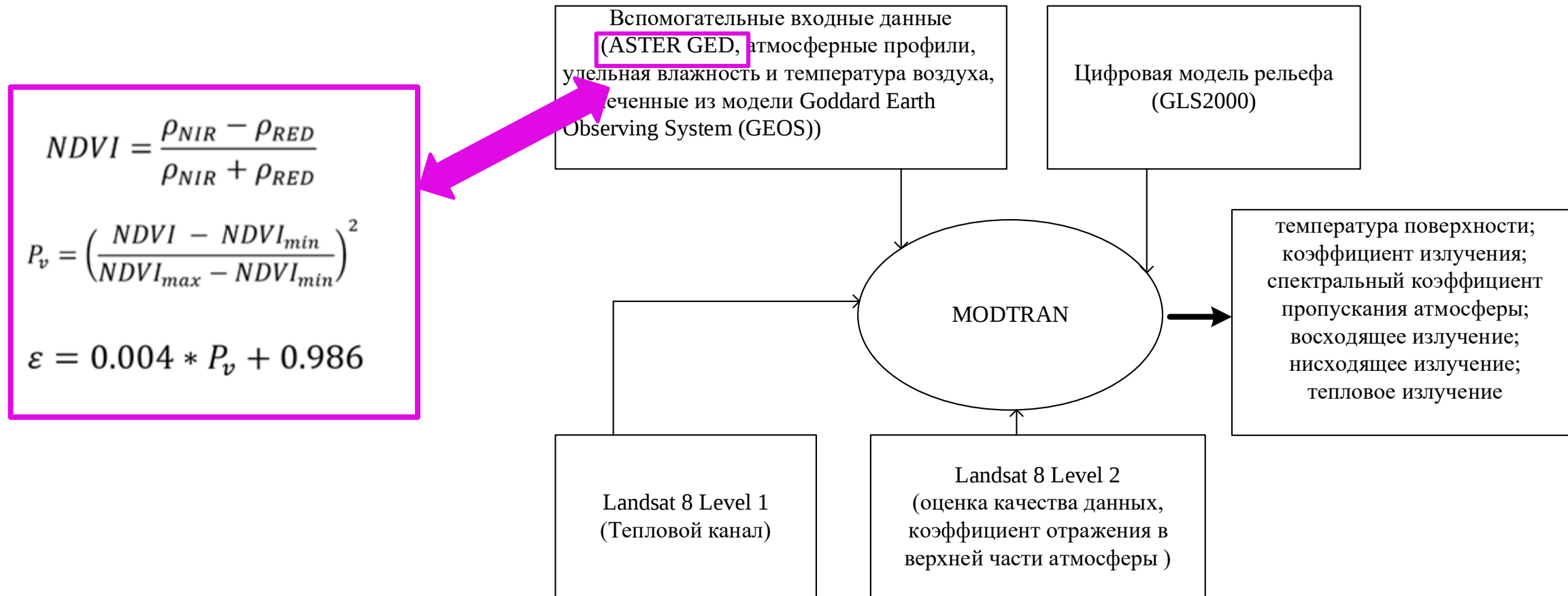
Научные продукты Landsat 8-9 Collection 2 Level-2 стали доступны с марта 2021 года.

Вспомогательные входные данные ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) GED (Global Emissivity Dataset)



ASTER GED содержит области с отсутствующими данными о среднем коэффициенте излучения, необходимыми для создания продукта surface temperature (ST). Если отсутствует информация ASTER GED, в этих областях не будет данных о температуре земной поверхности.

Landsat 8-9 Collection 2 Level 2



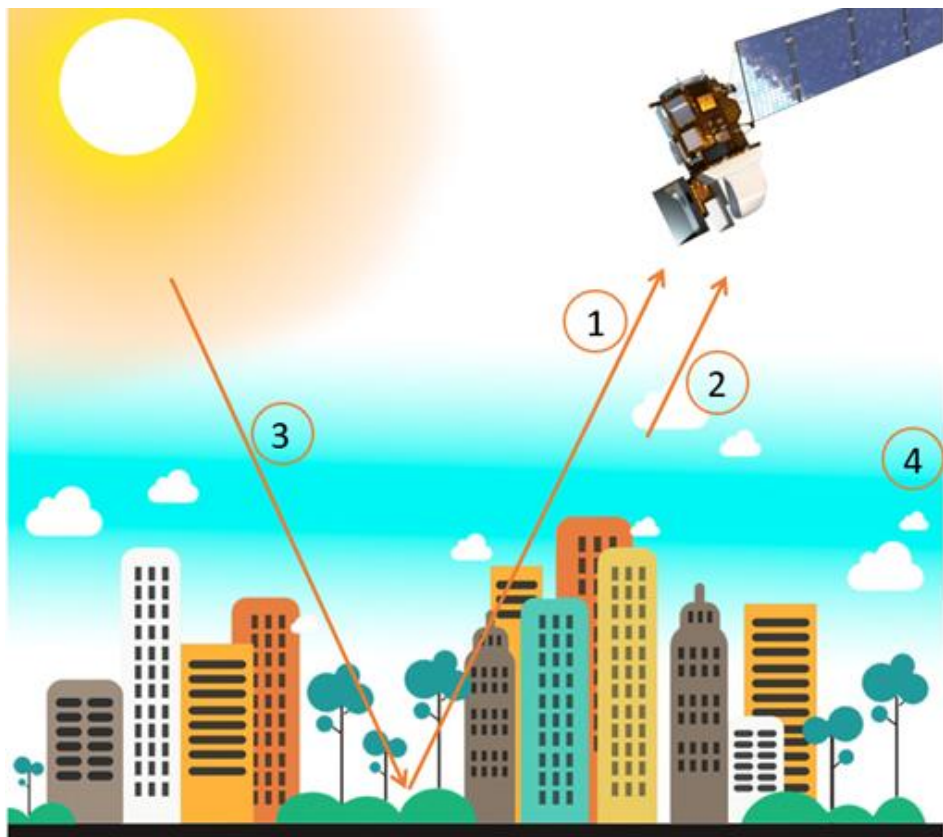
NDVI - (Normalized Difference Vegetation Index) - нормализованный относительный индекс растительности.

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

P_v - доля растительного покрова.

ε - коэффициент излучения.

Атмосферные параметры набора данных Landsat 8-9 C2L2



- 1 - тепловое излучение L_{th} (thermal radiance),
- 2 - восходящее излучение L_{uw} (upwelled radiance),
- 3 - нисходящее излучение L_{dw} (downwelled radiance),
- 4 - спектральный коэффициент пропускания атмосферы τ (atmospheric transmittance).

Структура исходных данных

LC08_L2SP_142021_20220526_20220602_02_T1_ST_ATRAN.TIF
Landsat Collection 2 Level-2 Band File

LC08_L2SP_142021_20220526_20220602_02_T1_ST_B10.TIF
Landsat Collection 2 Level-2 Band File

LC08_L2SP_142021_20220526_20220602_02_T1_ST_DRAD.TIF
Landsat Collection 2 Level-2 Band File

LC08_L2SP_142021_20220526_20220602_02_T1_ST_EMIT.TIF
Landsat Collection 2 Level-2 Band File

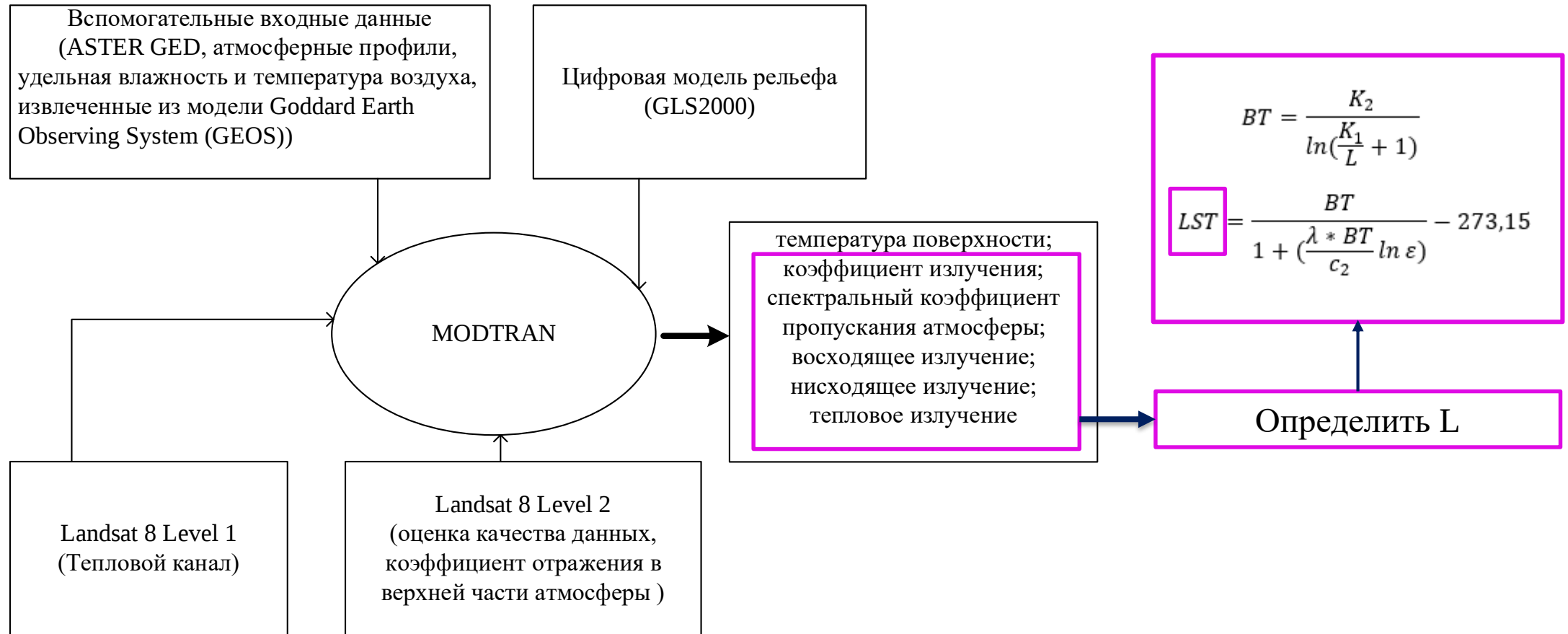
LC08_L2SP_142021_20220526_20220602_02_T1_ST_TRAD.TIF
Landsat Collection 2 Level-2 Band File

LC08_L2SP_142021_20220526_20220602_02_T1_ST_URAD.TIF
Landsat Collection 2 Level-2 Band File

Для вычисления температуры поверхности сначала необходимо произвести вычисление яркости (L)

$$L = \frac{L_{th} - L_{uw} - (1 - \varepsilon)L_{dw}\tau}{\tau}$$

Landsat 8-9 Collection 2 Level 2



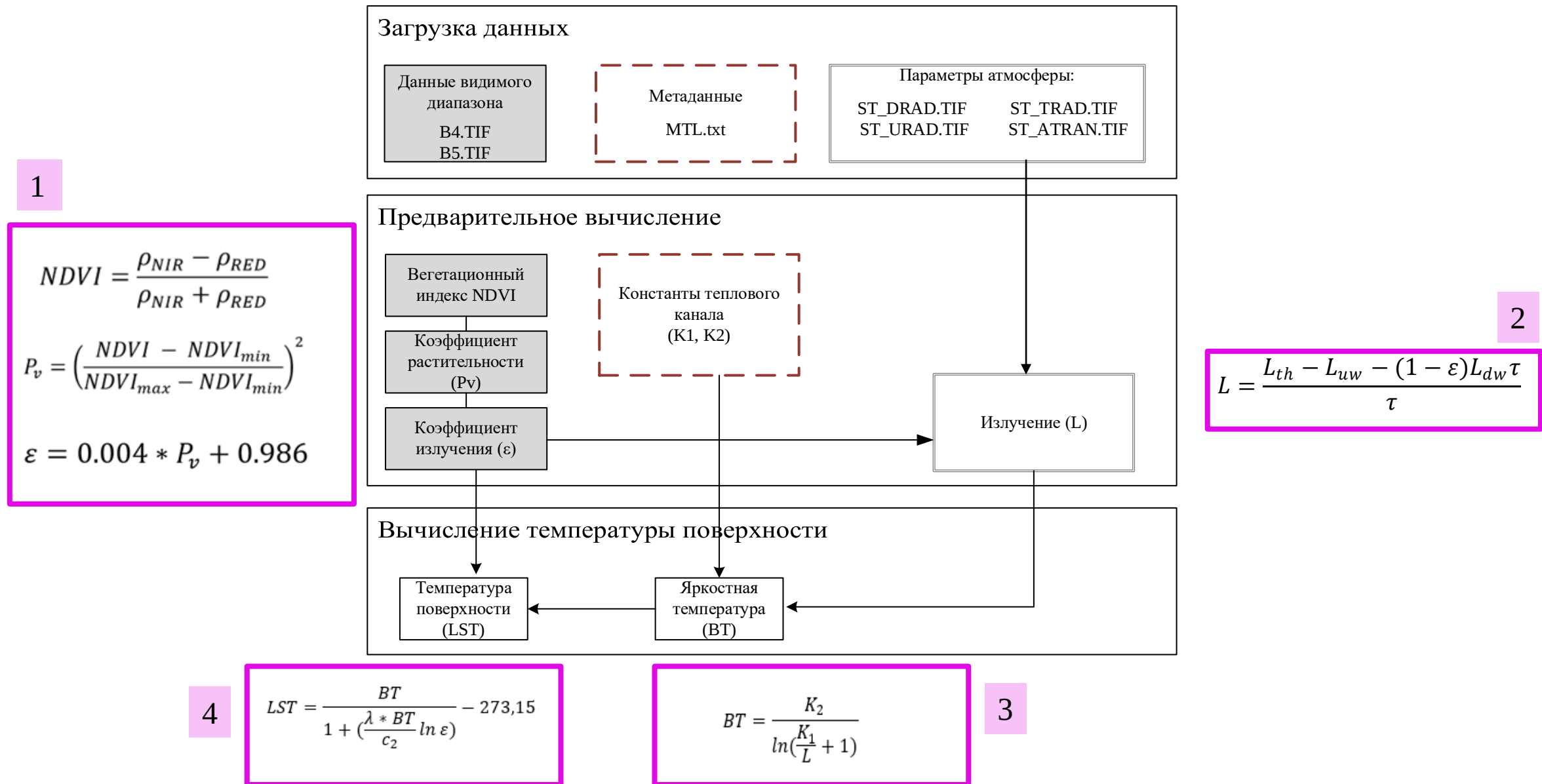
Яркостная температура (BT), где K2 и K1 константы теплового преобразования для конкретных полос, которые доступны в файле метаданных Landsat.

λ – длина волны света, λ для 10-го канала Landsat-8;

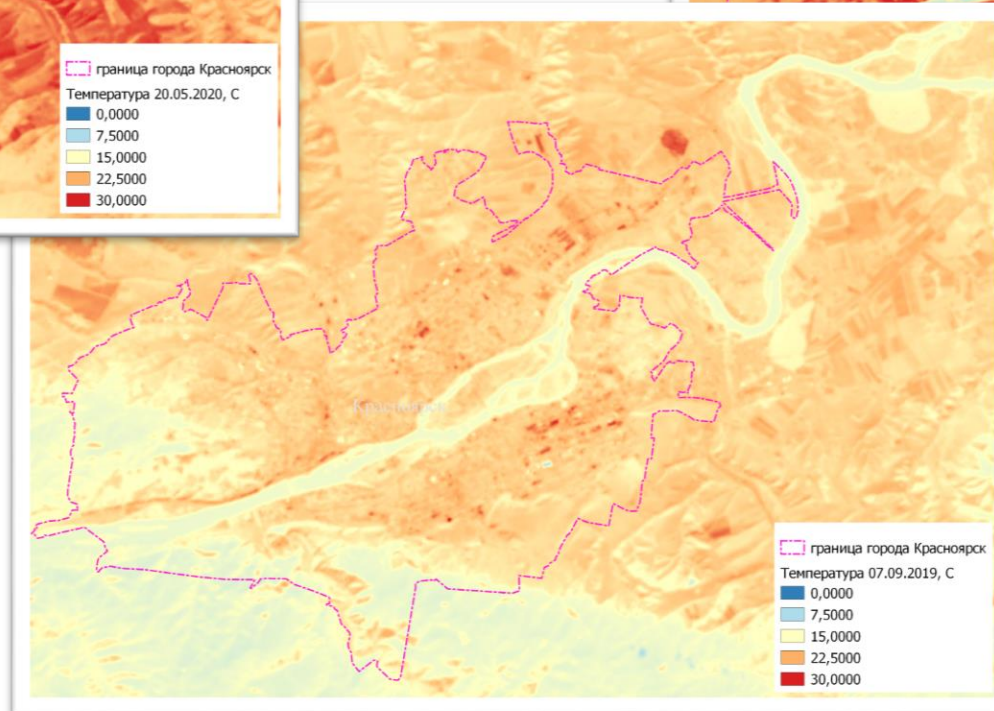
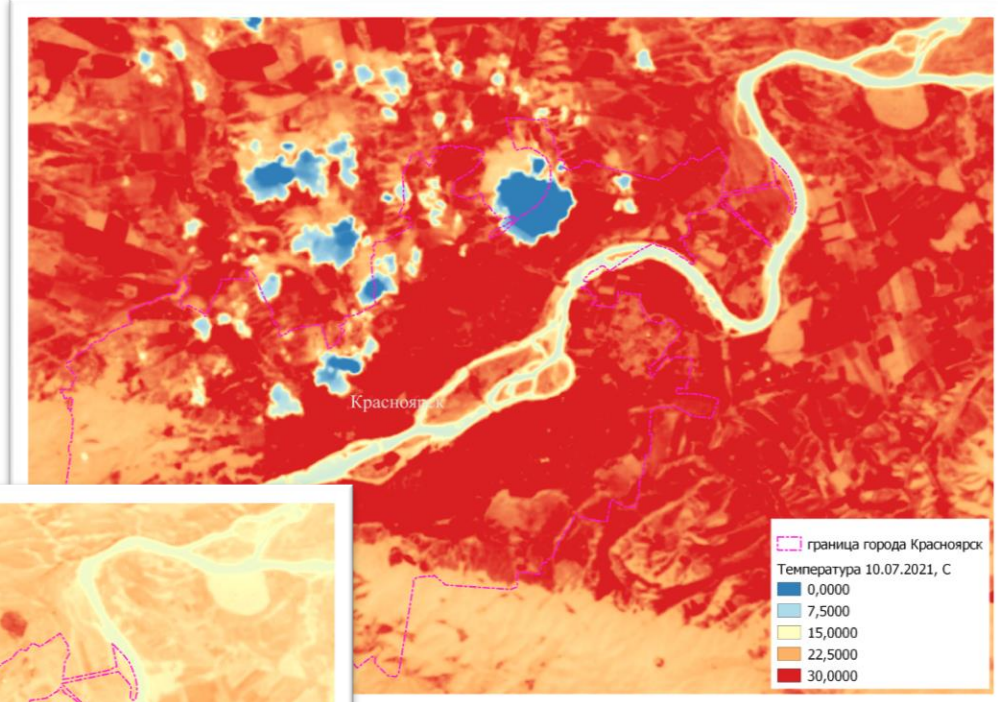
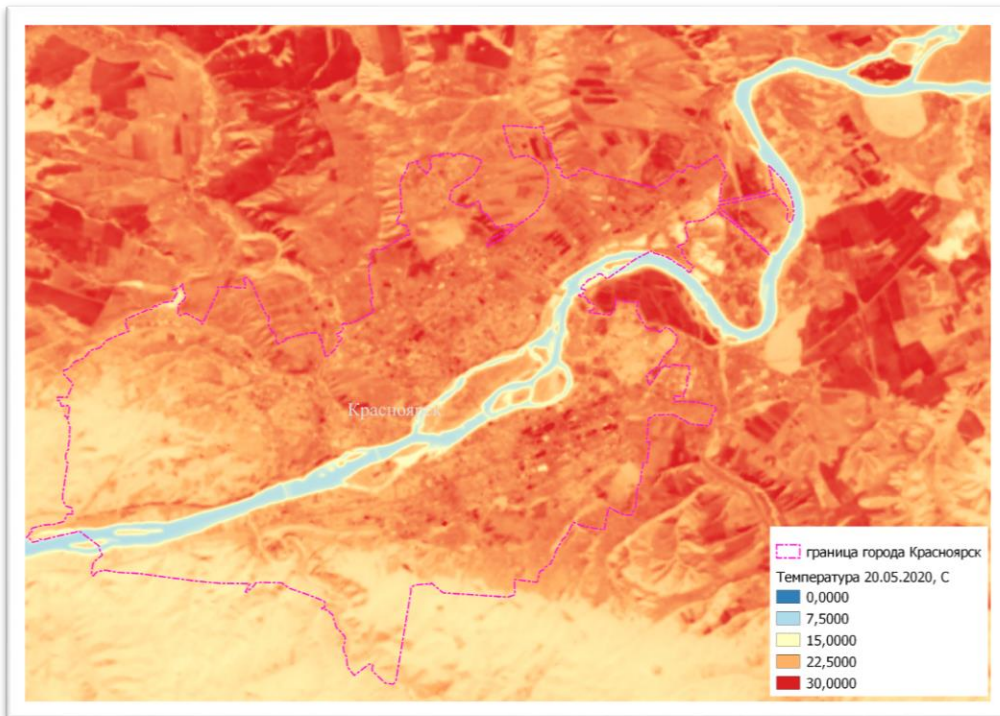
$c_2 = h * c / k = 1.4388 * 10^{-2} \text{ m K} = 14388 \text{ } \mu\text{m K}$;

ϵ - коэффициент излучения.

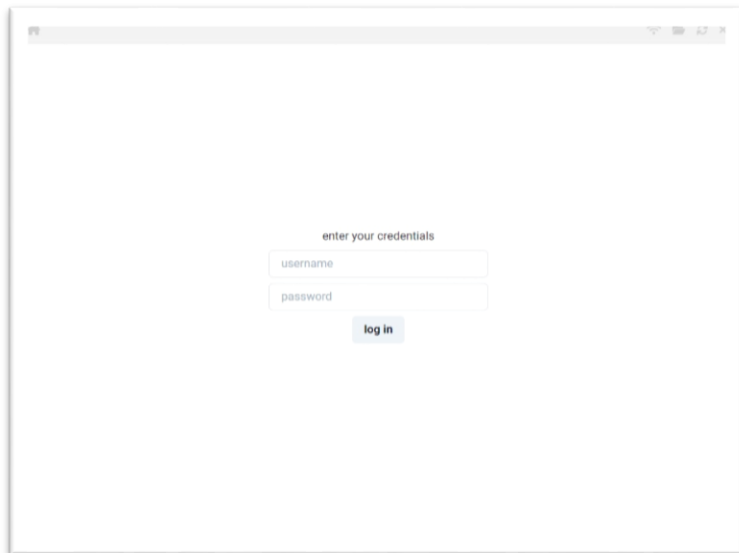
Схема вычисления температуры поверхности



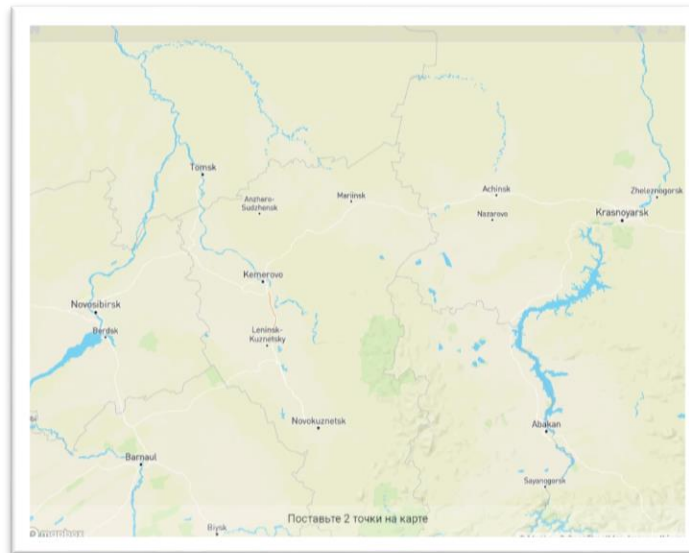
Результат вычисления температуры поверхности (г. Красноярск)



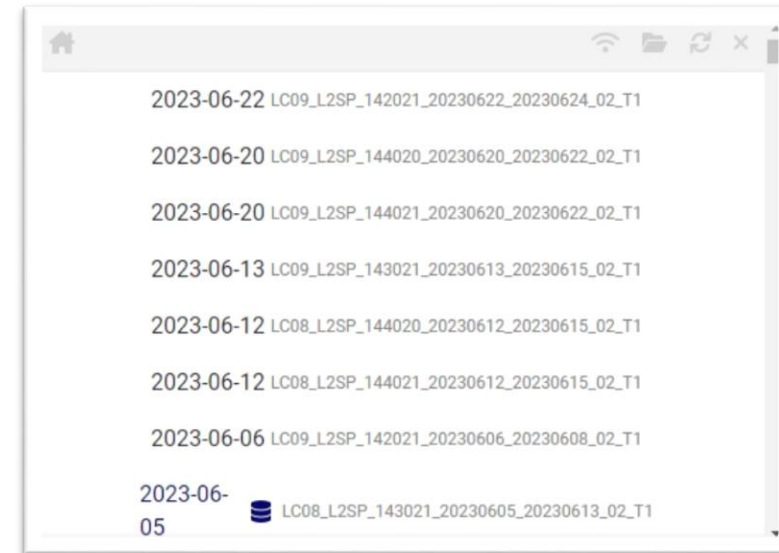
Автоматизация расчета температуры земной поверхности



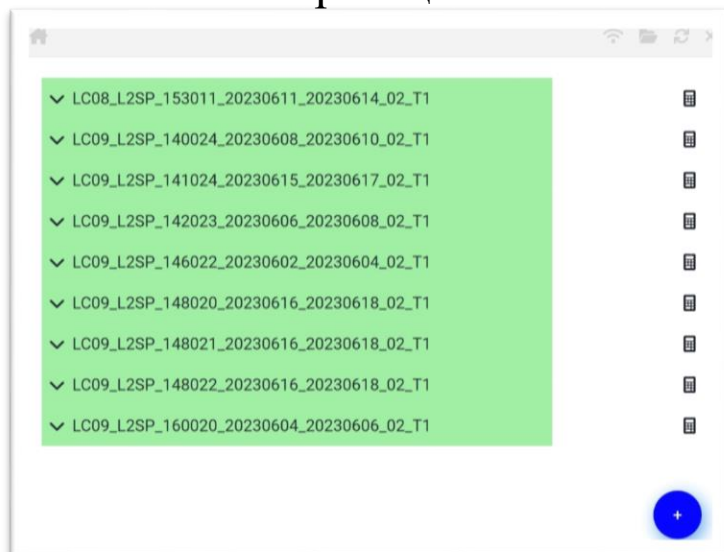
Авторизация



Выбор области

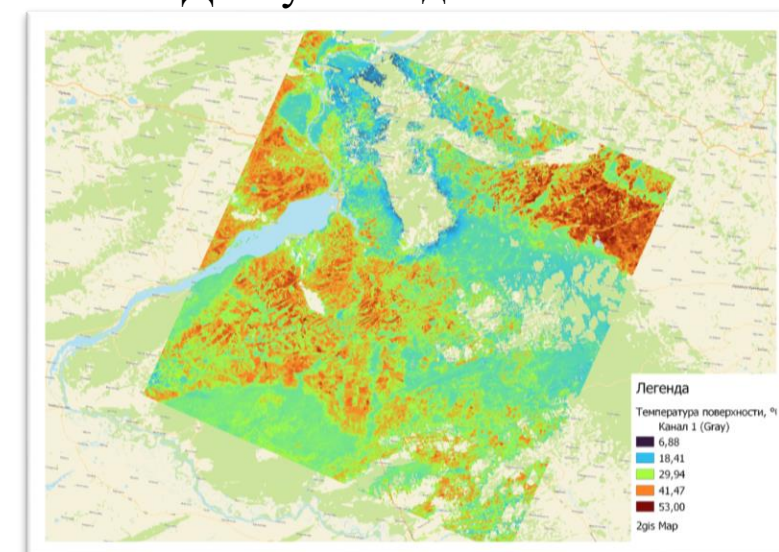


Доступные данные



Результат.

Готовый слой в формате geoTIFF
со значениями температуры
поверхности в °C.



Заключение

1. Ручная обработка космических снимков – трудоемкий и сложный процесс, требующий автоматизации из-за большого объема данных.

2. Для разных задач и объемов данных необходимо выбирать наиболее подходящее решение:

- ✓ Пакетная обработка для однородных данных (например, MODIS).
- ✓ ГИС-инструменты (плагины QGIS).
- ✓ Построение геомодели для сложных повторяющихся операций.
- ✓ В некоторых случаях требуется создание специализированного ПО. Наиболее актуально, если данные продолжают поступать непрерывно от одного источника.

Спасибо за внимание!
