

# **Мониторинг подземных пожаров на основе комплексных данных дистанционного зондирования**

Мамаш Е.А., Пестунов И.А., Потапов В.П.

Федеральный исследовательский центр  
информационных и вычислительных технологий

г. Новосибирск

**Подземные угольные пожары** являются катастрофическим бедствием, которое, с одной стороны, приводит к существенному загрязнению окружающей среды, а с другой - может провоцировать опасные геомеханические процессы, такие, например как оползни.

Кузбасс является самым крупным угледобывающим районом в России, в котором количество зафиксированных подземных пожаров достигает нескольких десятков за год и продолжает увеличиваться.

Существенное влияние на процессы возникновения подземных пожаров оказывают как сами процессы добычи угля, так и закрытые шахты (смещения горных пород в районе шахт приводят к интенсификации близко расположенных зон пожаров).

Для ликвидации очагов подземных пожаров очень важно определять зоны их возникновения и развития.

Учитывая большие площади распространения пожаров, для их обнаружения целесообразно применять технологии дистанционного зондирования. При этом инфракрасный диапазон спутниковых данных обычно используется для обнаружения тепловых аномалий в зонах, связанных с пожаром, а радарная интерферометрия – для оценки зон смещений, которые происходят в этом же районе и связаны с изменением структуры горного массива.

Однако здания и сооружения с низкой удельной теплоемкостью, а также процессы, связанные с непосредственной добычей и выемкой угля, существенно влияют на точность оценки размеров зон тепловых аномалий.

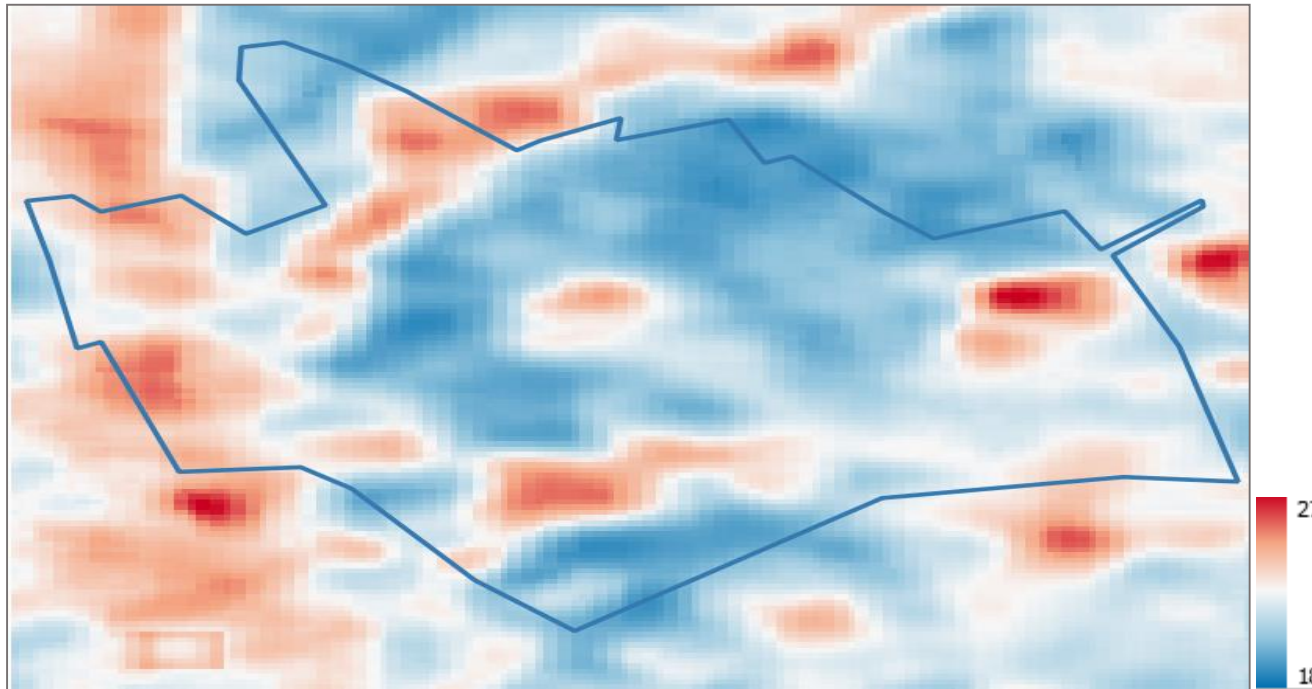
Поэтому для улучшения точности целесообразно использовать длинные временные ряды, которые позволяют повысить точность оценки зон смещений, и средней температуры зон тепловых аномалий.

В данной работе оценивалась возможность использования коллекции атмосферно-скорректированных данных Landsat-8 (<https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/landsat>) для обнаружения и анализа температурных аномалий на территории шахты «Кокосовая» в г. Прокопьевске Кемеровской области. Извлечение и обработка спутниковых данных производилась с помощью системы Google Earth Engine.



Поле  
обследованной шахты

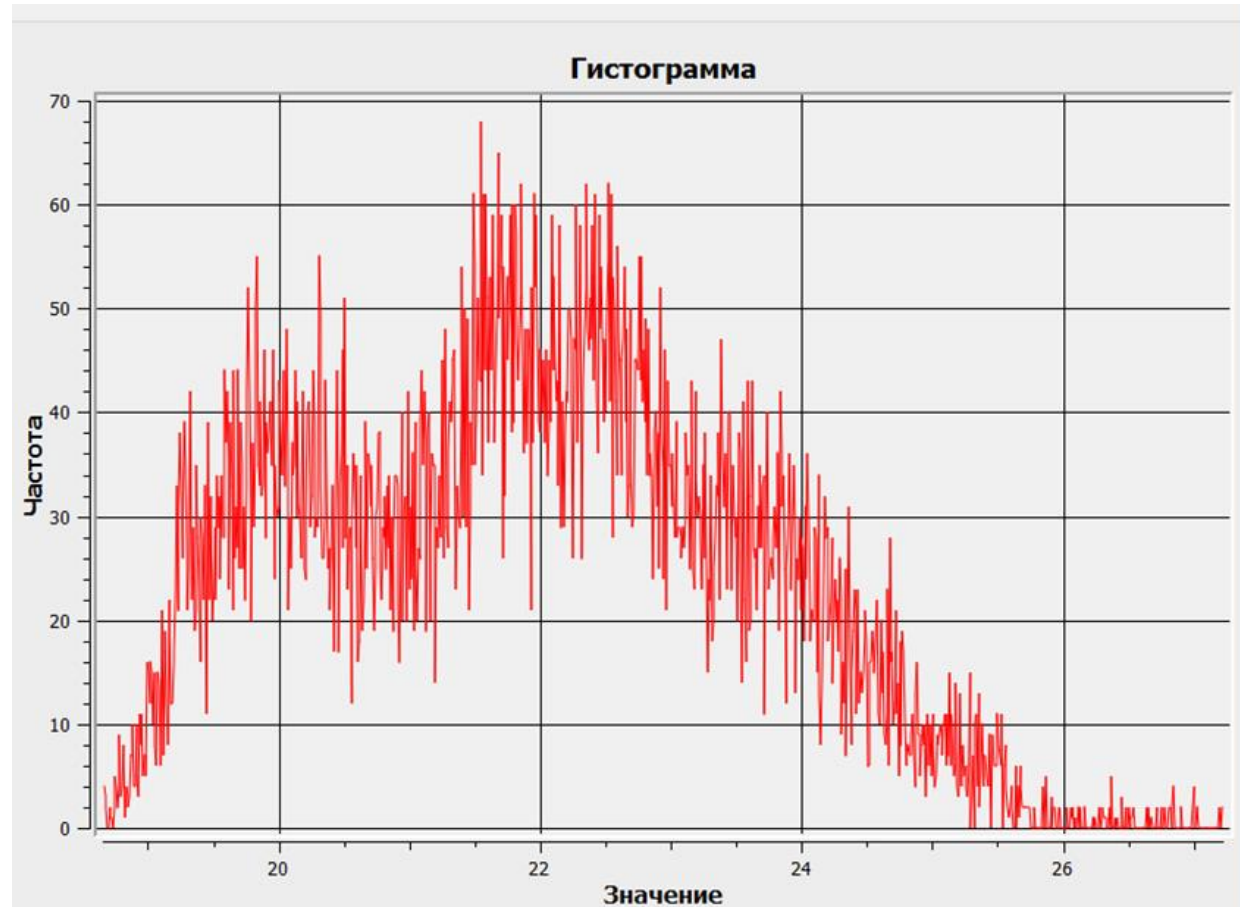
Вычисление температуры по данным Landsat-8 производилось с помощью наиболее распространённого метода, описание которого можно найти в работах [1,2]. Для выявления устойчивых термальных аномалий на территории шахты была построена температурная карта средних значений LST за бесснежный период (май-октябрь) 2015-2020 гг.



Карта средних значений LST  
за май-октябрь 2015-2020 гг.

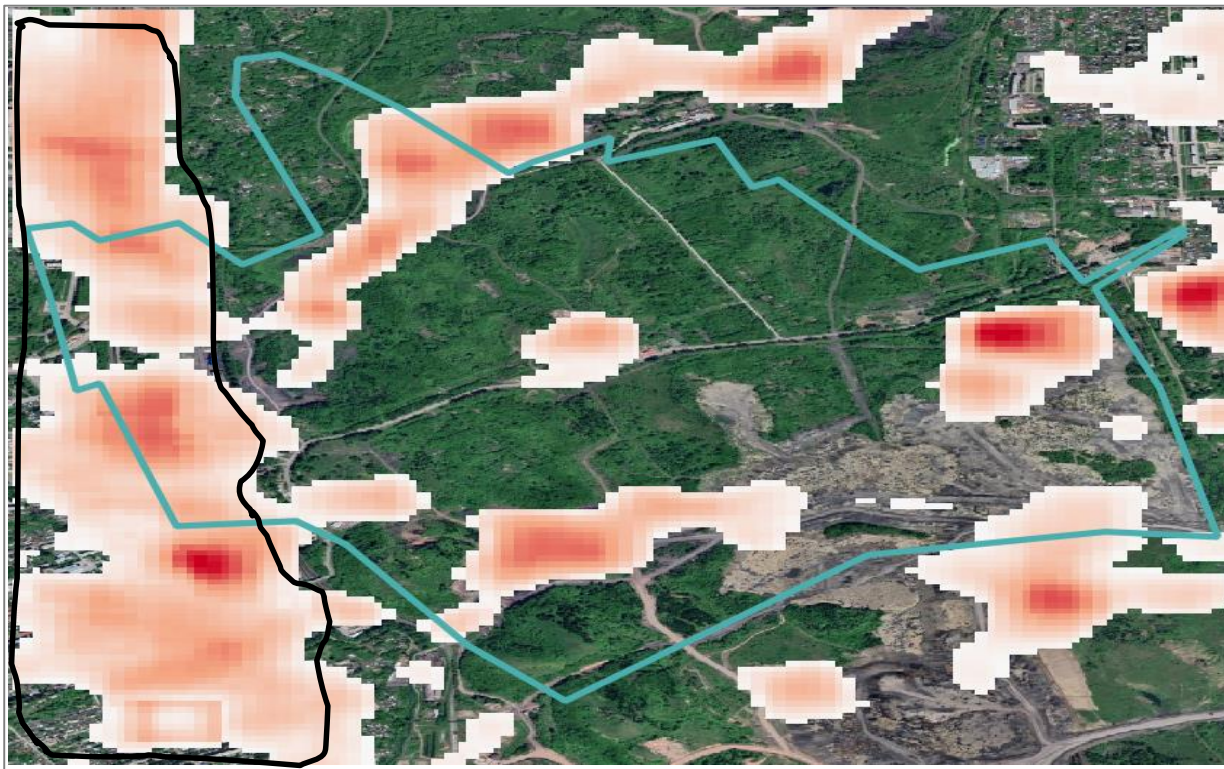
1. Jimenez-Munoz J.C., Sobrino, J.A., Skokovic D., Mattar C., Cristobal J., Land surface temperature retrieval methods from Landsat-8 thermal infrared sensor data // IEEE Geosci. Remote Sens. Lett. 2014. V.11. P. 1840-1843.
2. Parastatidis D., Mitraka Z., Chrysoulakis N., Abrams M. Online global land surface temperature estimation from Landsat // Remote Sens. 2017. V. 9. P. 1208.

Эмпирическим путем было установлено, что точки термальных аномалий соответствуют температурам  $T > 22$  °C (третья мода).



Гистограмма  
распределения  
значений LST

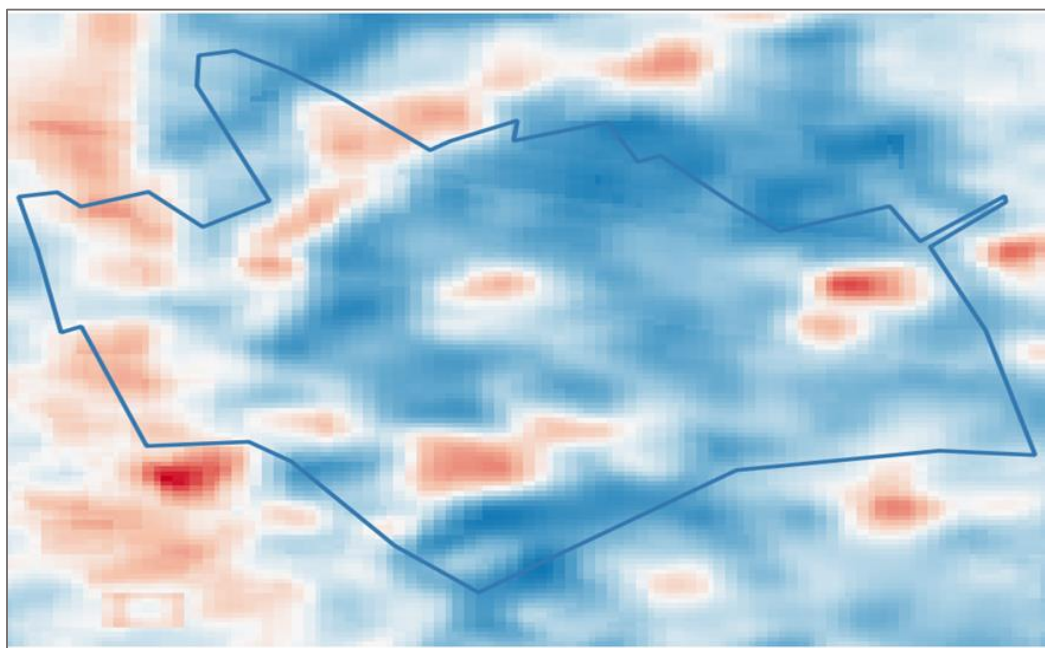
При сопоставлении с данными Google можно увидеть, что высокие температуры в левой части рисунка (обведенной черной линией) соответствуют объектам инфраструктуры, таким как застройка и сеть ж/д. Остальные аномалии непосредственно связаны с процессами, протекающими на территории шахты.



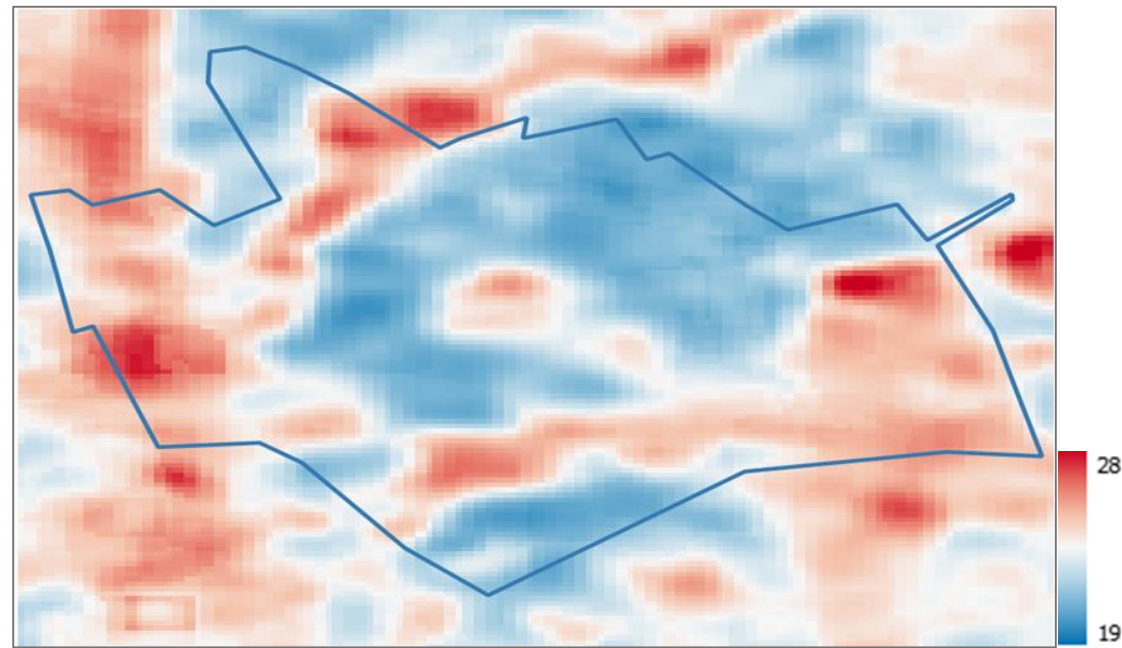
Термальные аномалии

Для исследования динамики изменения максимальных температур на территории шахты изучаемый период был разделен на два временных отрезка (2015-2017 гг. и 2018-2020 гг.), для которых и были получены соответствующие температурные карты.

Анализ этих карт показал, что пространственное распределение температуры за последние годы изменилось в сторону повышения средней температуры в одном из участков, соответствующем области протекания подземных пожаров.



Поля температурных аномалий  
за 2015-2017 гг.



Поля температурных аномалий  
за 2018-2020 гг.

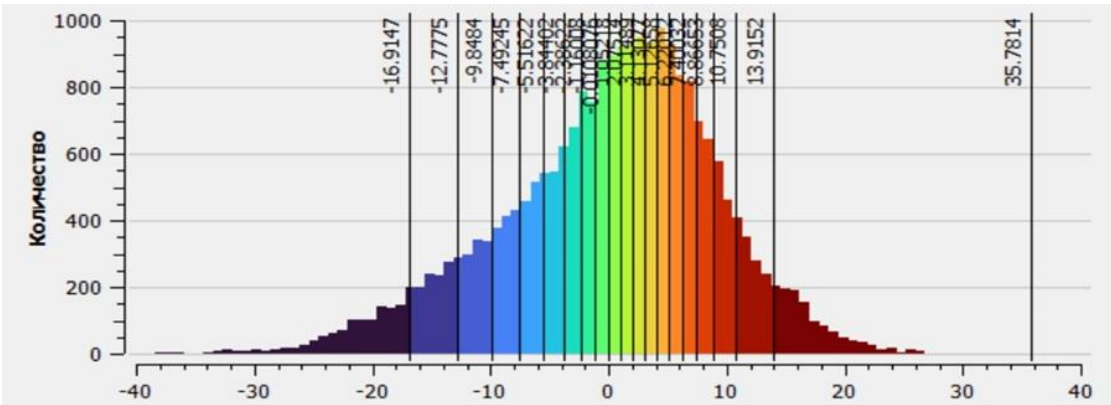
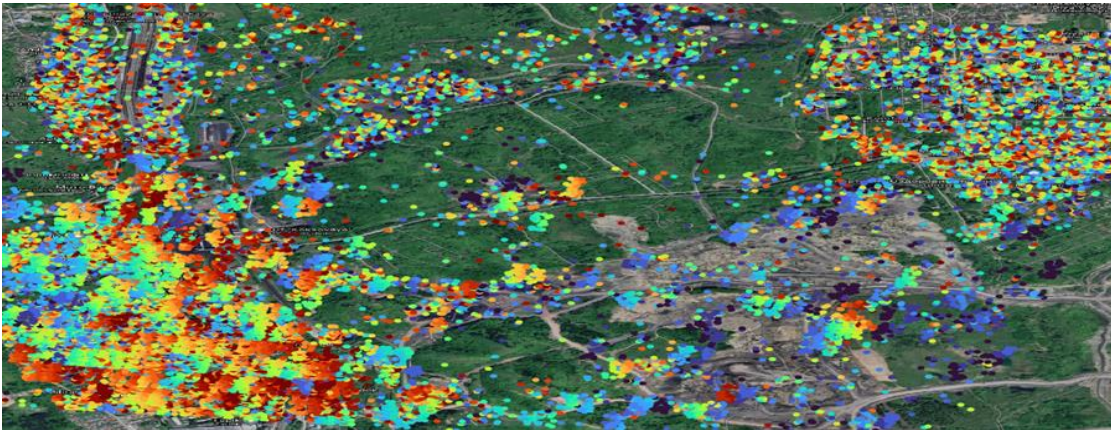


Кроме данных Landsat-8, использовались радарные данные КА Sentinel-1A, полученные за период 2017-2020 гг. Обработка данных проводилась авторской программой “Монитор-радар”, разработанной в ФИЦ ИВТ и аккумулирующей в себе наиболее широко распространенные методы обработки интерферометрической информации (SBAS, PS, SqueeSAR, DInSAR, InSAR).

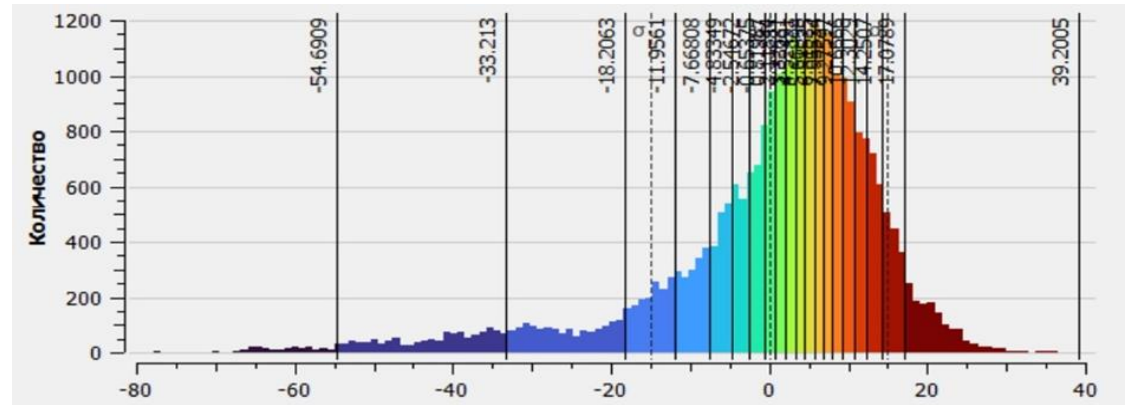
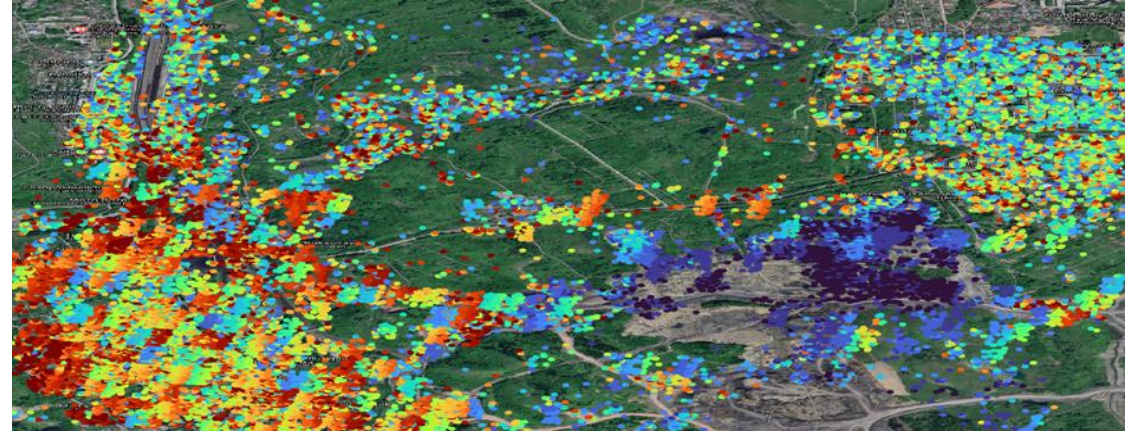
В результате обработки были получены таблицы смещений и скорости изменения поверхности в исследуемом районе, построены картосхемы и соответствующие гистограммы. Для уточнения пространственного распределения зон смещений использовался метод “HOT SPOTS”\*, группирующий их в кластеры. В результате показано, что смещения сдвинулись в положительную область, что говорит об общем поднятии подстилающей поверхности в этом районе.

---

\*Olajuyibe A., Omole K., Bayode T., Adenigba A. Crime mapping and analysis in the core area of Akure, Nigeria // Journal of Remote Sensing &GIS. 2016. V. 5 (178). P. 1-7.

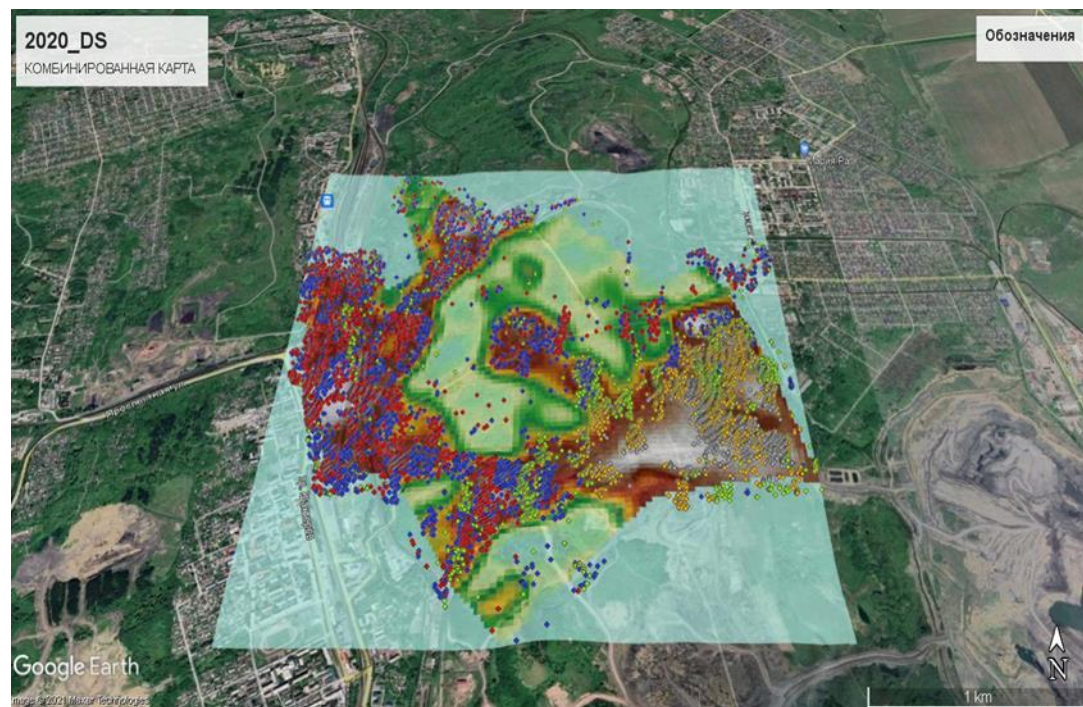


Карта смещений и соответствующая ей гистограмма за 2018 год

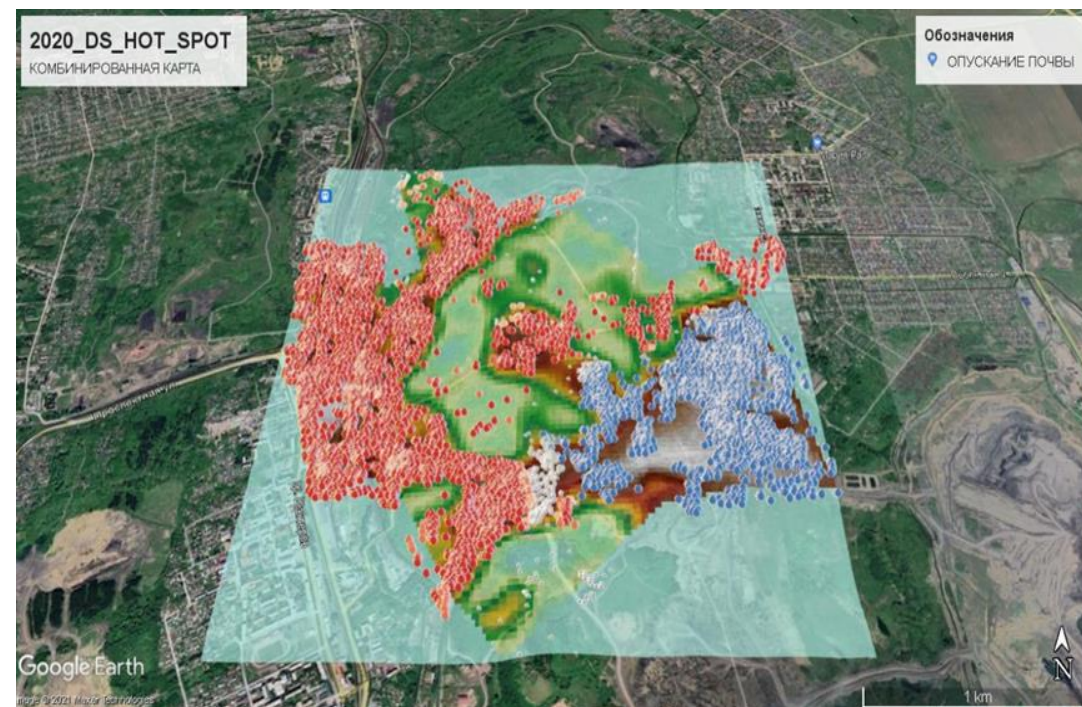


Карта смещений и соответствующая ей гистограмма за 2020 год

На последующих этапах обработки карты смещений накладывались на карты температурных аномалий. В результате определено наличие высокой корреляции зон смещений (как положительных, так и отрицательных) с зонами температурных аномалий, что объясняется изменением скорости протекания геомеханических процессов, связанных с зонами развития подземных пожаров и обусловленными ими тепловыми аномалиями.



Карта смещений, наложенная на карту аномалий температур за 2020 г.



Комбинированная карта, полученная по методу "HOT SPOTS" за 2020 г.

Таким образом, для организации мониторинга подземных угольных пожаров целесообразно использовать результаты комплексной обработки длинных временных рядов как радарных данных, так и мультиспектральных данных, получаемых, например, с космических аппаратов серии Landsat и Sentinel-1.