

**Анализ возможности использования  
радарной интерферометрии для  
изучения деформаций земной  
поверхности на примере города  
Березники**

Богатырёв Д.А.



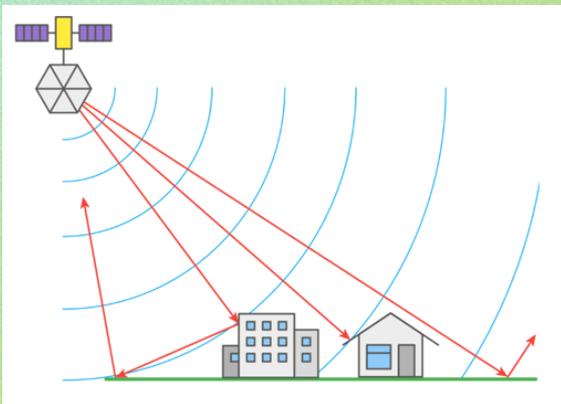
# ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценить возможности метода радарной интерферометрии для анализа смещений земной поверхности на примере территории города Березники с использованием спутниковых данных Sentinel-1, ПО SNAP и программной среды Google Colab.





# Теория радиолокационной съёмки



Радиолокационная (РЛ) съёмка – вид аэрокосмической съёмки, осуществляемой радиолокатором – активным микроволновым датчиком, способным излучать и принимать рассеянные земной поверхностью поляризованные радиоволны в определённых диапазонах длин волн (частот), выделенных Регламентом радиосвязи.

## Важные моменты:



Активный метод (не требует дополнительного излучения).



В сигнале регистрируются три компоненты – амплитуда, фаза, время.



Радиолокация – это всегда боковая съёмка.

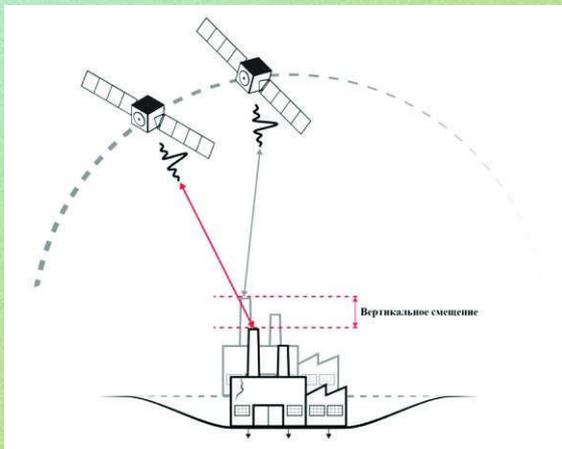


Диапазон длин волн от 1 миллиметра до 1 метра (проникающая способность).



Поляризация волны. Для задач интерферометрии – VV (вертикальная согласованная).

# Теория радарной интерферометрии



Методы РСА-интерферометрии (РСА – радары с синтезированной апертурой) широко используются при изучении смещений на оползневых склонах, проседаний грунтов над шахтами и тоннелями, смещений земной поверхности в результате землетрясений и других природных и техногенных процессов.

## Важные моменты:

✓ Для оценки смещений используется разность фаз между съемками.

✓ Фаза содержит информацию о расстоянии от радиолокатора до поверхности Земли и равна  $2\pi$ .

✓ Когерентность – мера согласованности двух одновременных сигналов.

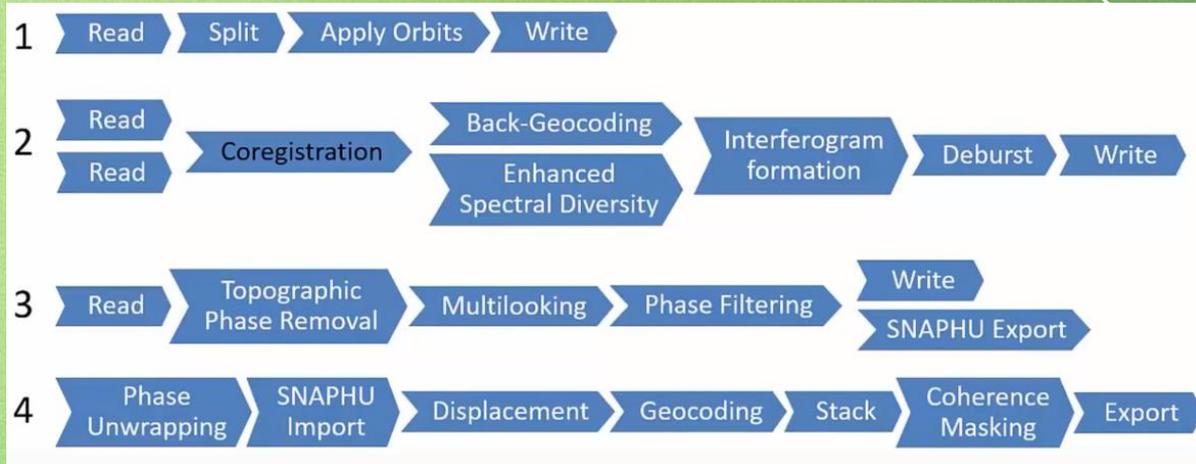
✓ Интерферометрическая база – расстояние между положениями космических аппаратов в разный момент времени.

✓ Основные методы: DinSAR, SBAS, PSI.

## Этапы работы:

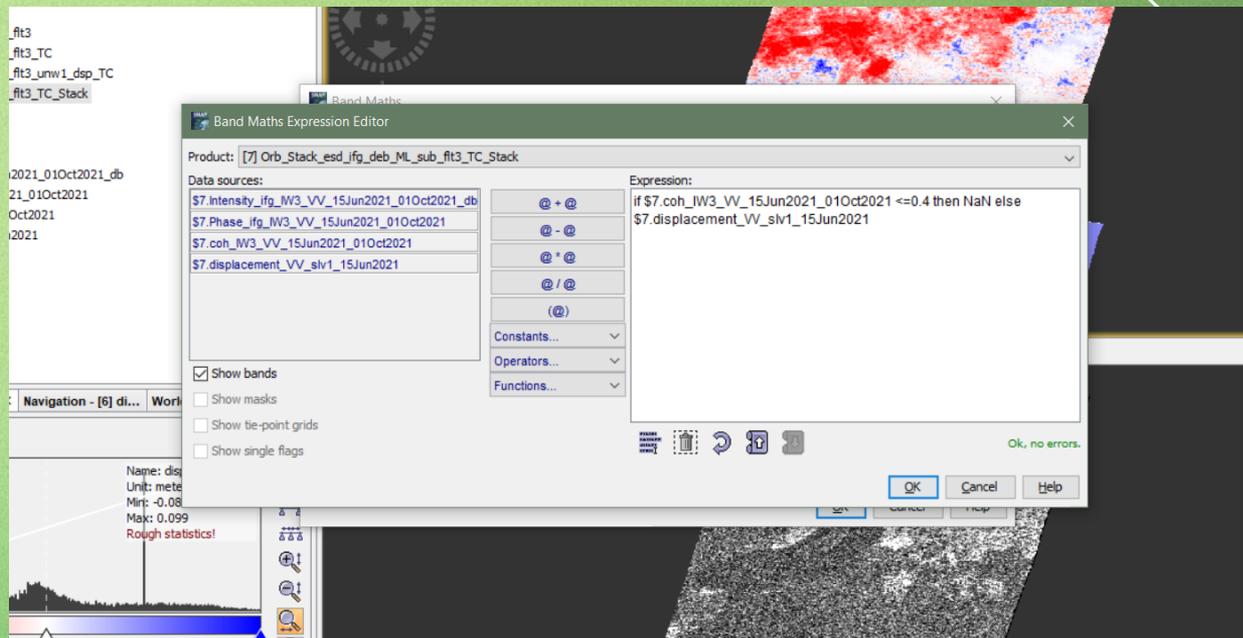
1. Выбор подходящих  
“стабильных” снимков.

2. Обработка выбранных  
снимков в ПО SNAP.



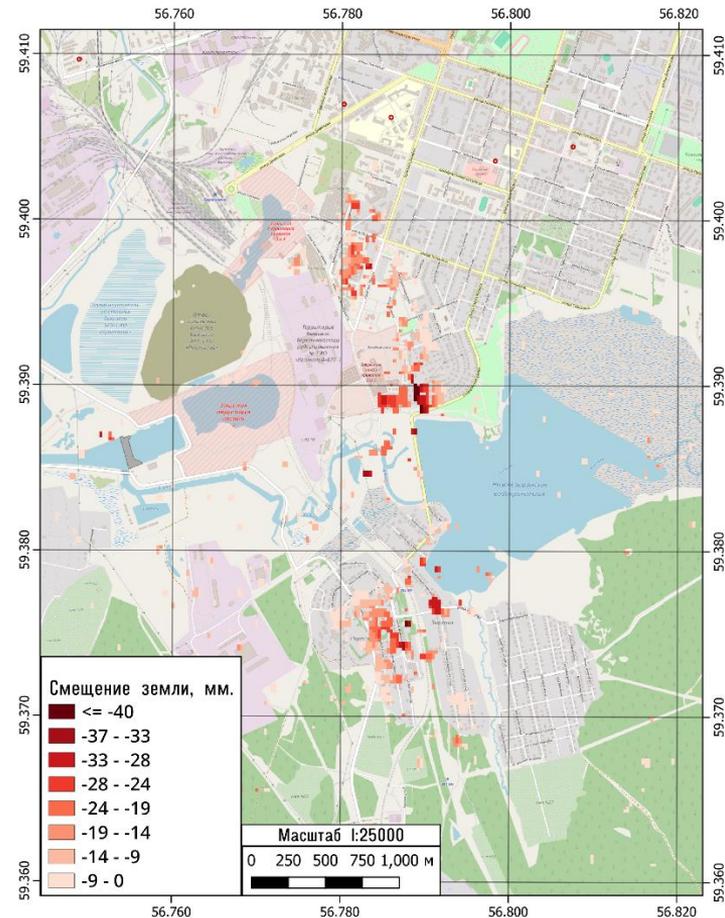
## Этапы работы:

2.1 Создание маски для значений смещений с учетом когерентности пикселей.



# Карта зафиксированных смещений земной поверхности методом DinSAR

Зафиксированные смещения методом DinSAR радарной  
интерферометрии за период 15.06.2021 - 01.10.2021  
г. Березники, Пермский край.



Данная часть работы реализована на базе Google Colab и открыто программного кода для интерферометрической обработки (PyGMTSAR) на языке программирования Python. Программный код был мной дополнен и изменен для интерферометрической обработки и анализа территории города Березники.

### ▼ Descending Orbit Configuration

0 сек.

```
SCENES = ""
S1B_IW_SLC__1SDV_20211013T023012_20211013T023039_029111_037944_F582
S1B_IW_SLC__1SDV_20211001T023012_20211001T023039_028936_0373E2_EA2A
S1B_IW_SLC__1SDV_20210919T023012_20210919T023039_028761_036EA8_1875
S1B_IW_SLC__1SDV_20210814T023010_20210814T023037_028236_035E55_65E4
S1B_IW_SLC__1SDV_20210802T023009_20210802T023036_028061_0358F0_95DB
S1B_IW_SLC__1SDV_20210721T023009_20210721T023036_027886_0353D3_F67B
S1B_IW_SLC__1SDV_20210709T023008_20210709T023035_027711_034E9A_BCB2
S1B_IW_SLC__1SDV_20210627T023007_20210627T023034_027536_03497B_5837
S1B_IW_SLC__1SDV_20210615T023007_20210615T023034_027361_034491_3230
S1B_IW_SLC__1SDV_20210522T023005_20210522T023032_027011_033A1E_85BE
""

SCENES = list(filter(None, SCENES.split('\n')))
print (f'Scenes defined: {len(SCENES)}')
```

Scenes defined: 10

```
geojson = '''
{
  "type": "Feature",
  "properties": {},
  "geometry": {
    "type": "Polygon",
    "coordinates": [
      [
        [56.7214, 59.3565],
        [56.8324, 59.3565],
        [56.8324, 59.4167],
        [56.7214, 59.4167],
        [56.7214, 59.3565]
      ]
    ]
  }
}
...

AOI = gpd.GeoDataFrame.from_features([json.loads(geojson)])
AOI
```



```
0 POLYGON ((56.72140 59.35650, 56.83240 59.35650, 56.83240 59.41670
```

```
# subsidence point
geojson = '''
{
  "type": "Feature",
  "geometry": {
    "type": "Point",
    "coordinates": [56.782, 59.3978]
  },
  "properties": {}
}
...

POI = gpd.GeoDataFrame.from_features([json.loads(geojson)])
POI
```



geometry



```
0 POINT (56.78200 59.39780)
```

```
[17] # reference point
geojson = '''
{
  "type": "Feature",
  "geometry": {
    "type": "Point",
    "coordinates": [56.8057, 59.4064]
  },
  "properties": {}
}
...

POI0 = gpd.GeoDataFrame.from_features([json.loads(geojson)])
POI0
```

### Load DEM

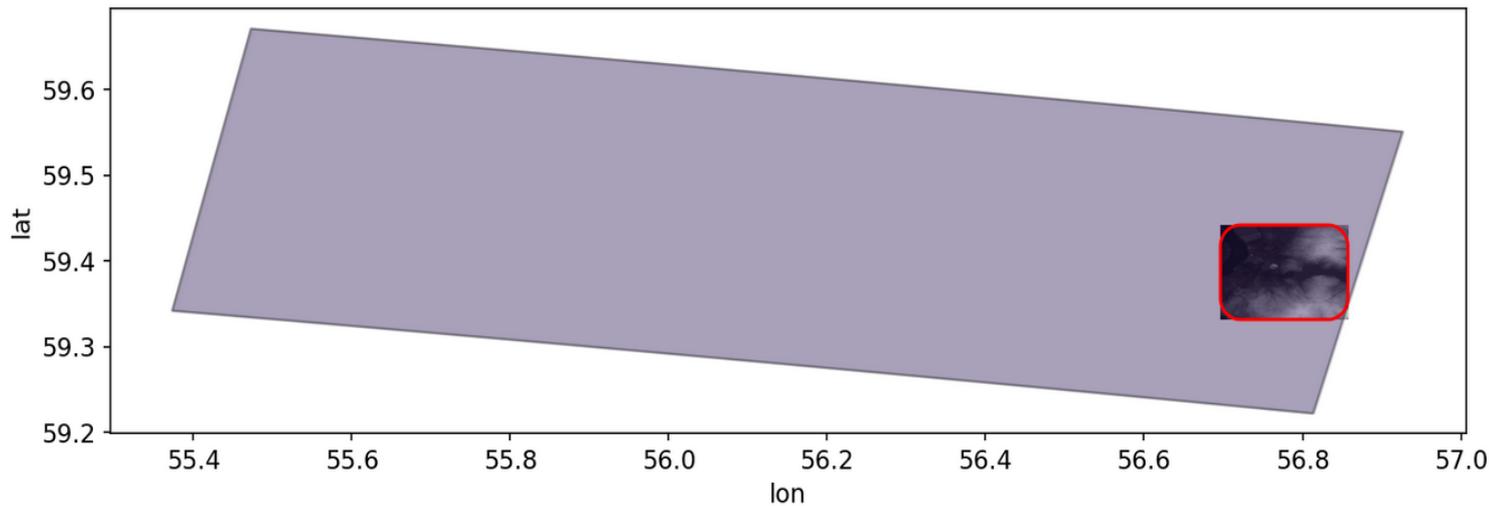
The function below loads DEM from file or Xarray variable and converts heights to ellipsoidal model using EGM96 grid.

```
[28] # define the area of interest (AOI) to speedup the processing  
sbas.load_dem(DEM, AOI)
```

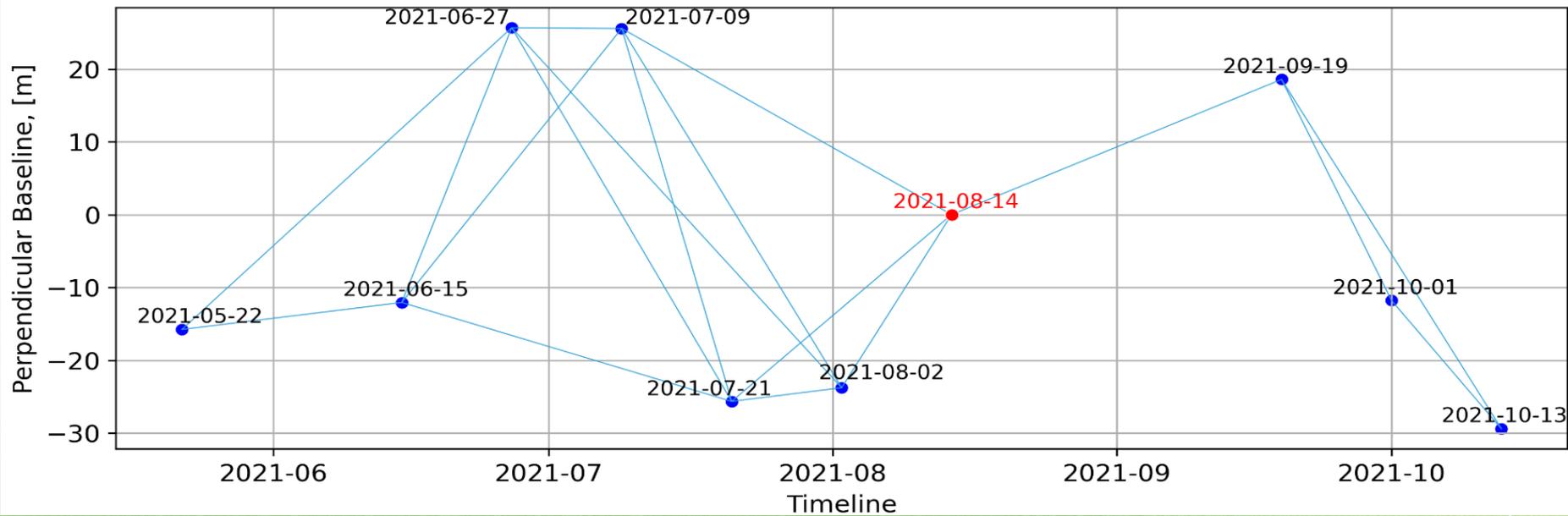
```
[29] sbas.plot_scenes(AOI=AOI)
```



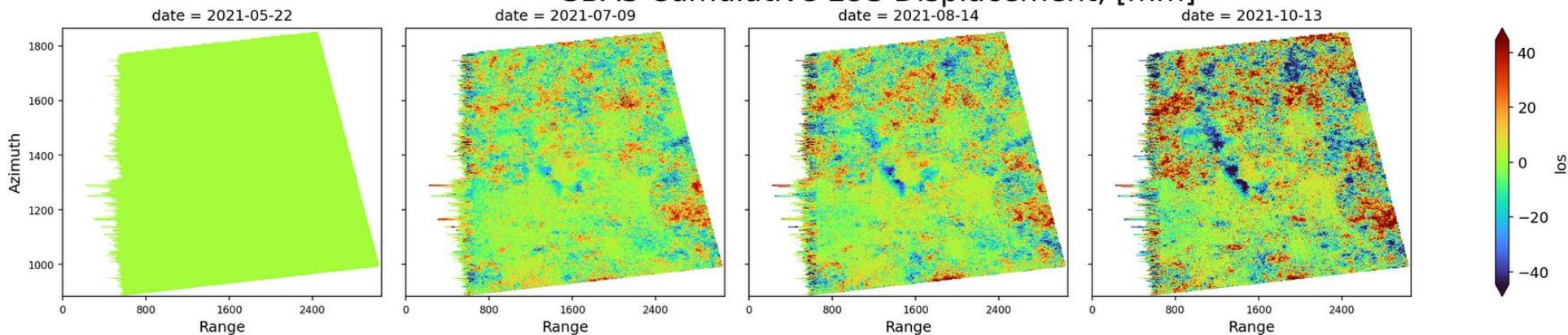
### Estimated Scene Locations



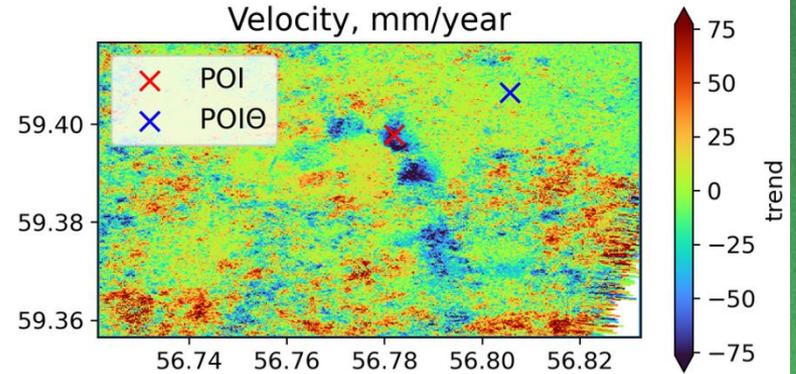
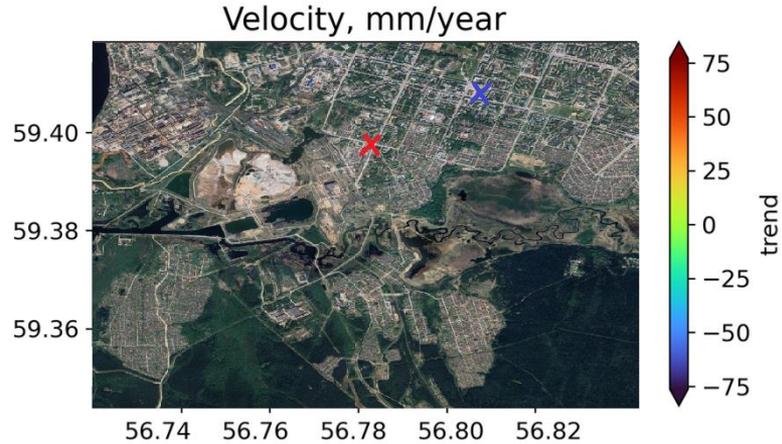
### Baseline



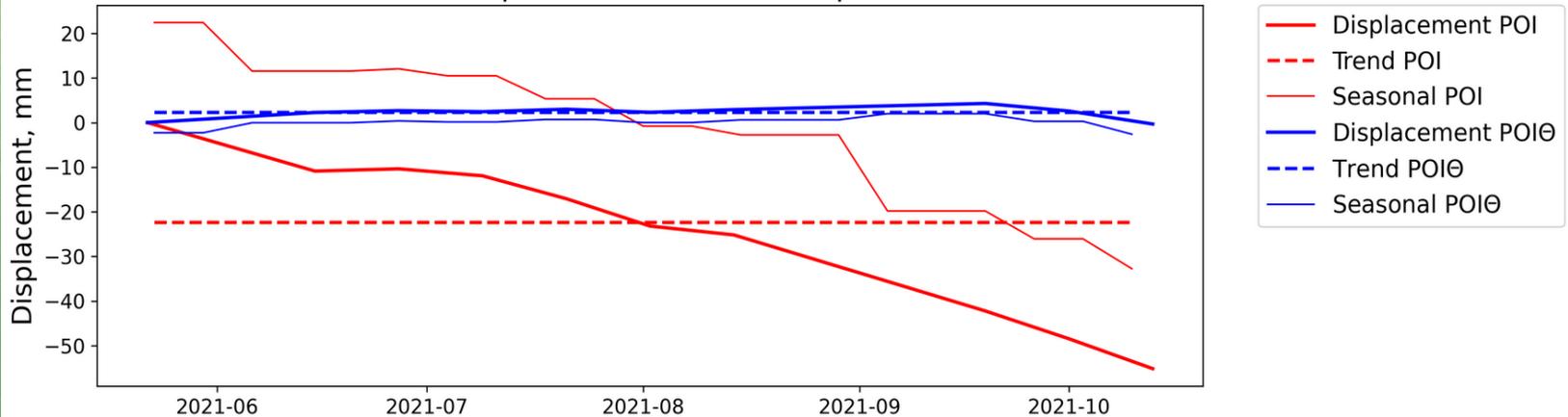
## SBAS Cumulative LOS Displacement, [mm]



# SBAS LOS Velocity STL Decompose, 2021



# SBAS LOS Displacement STL Decompose, 2021



# Выводы по методу DinSAR



Метод DinSAR позволяет оценить лишь примерные области просадок. На практике, метод обычно показывает хорошие результаты для оценки крупномасштабных, больших и быстрых смещений на “сухой” территории

Может быть применен в дополнении к наземным наблюдениям для мониторинга появления крупных и новых областей просадок, где еще не установлены репера нивелирного хода

Существуют области, которые не зафиксировались по данным спутника Sentinel-1 методом DinSAR

# Выводы по методу SBAS



Области просядок очень хорошо согласуются между собой. На схеме смещений, полученной в данной работе, можно проследить те же области, но с небольшой разницей, которая, скорее всего, связана с различием в радиолокаторе и орбите съемки

Сравнивая временной ряд смещений для области “панель переходного периода”, можно заметить согласованность. Постепенное и равномерное опускание во времени

Данный метод показывается себя намного лучше и точнее предыдущего. Но его, все еще нельзя назвать полностью самостоятельным

В дополнении к наземным наблюдениям, данный метод может способствовать более точному определению зон просядок, на которых не расположены нивелирные хода

# Выводы



Эффективное дополнение к наземным геодезическим измерениям для исследования процессов смещения земной поверхности на территории города Березники.

Метод SBAB позволяет анализировать изменение земной поверхности во времени - фиксируются просадки даже не большого масштаба, строятся временные ряды смещений и график для заданных точек

Получении данных об обширных территориях, которые невозможно покрыть детальными наземными измерениями.

Мониторинг закрытых территории, где наземные наблюдения становятся опасны.

Нехватка отечественных спутниковых радиолокационных данных и программного обеспечения, подходящих для задач интерферометрии

Невозможность проведения качественной и точной оценки оседаний в зимний период времени (с ноября по март)