

**Интерактивная карта активных  
оползневых участков и зон  
проседания грунтов для  
Центрального и Адлерского  
районов Большого Сочи по  
данным спутниковой радарной  
интерферометрии**

*Смолянинова Е.И., Михайлов В.О.*

Институт физики Земли  
им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

В последние годы за рубежом методы РСА-интерферометрии (InSAR) все более широко применяется для составления карт деформаций поверхности. Такие карты различного масштаба созданы на территории большинства Европейских стран. Эти карты используются во многих областях: при проектировании и строительстве различных объектов, уточнении карт оползневой опасности, мониторинге просадок поверхности при ведении горных работ, добыче углеводородов, прокладке дорог и трубопроводов и пр. Создание таких карт стало возможным благодаря запуску Европейским космическим агентством спутников Sentinel-1, которые снимают одни и те же участки поверхности с интервалом в 6 дней с бесплатным предоставлением снимков через Интернет через несколько часов после съемки.

Высокая оползневая опасность и все увеличивающаяся антропогенная нагрузка в районе Большого Сочи обуславливает актуальность создания таких карт для этого региона. Территория Большого Сочи снимается спутниками Sentinel 1 А и В с двух восходящих и двух нисходящих треков, начиная с 2015 года.

Фото  
2007

Имеретинская низменность



Фото  
2017



Оползневые процессы  
п. Черешня 2019



# Использованные снимки Sentinel 1A и технология обработки



Для того, чтобы провести расчеты только в густонаселенной прибрежной полосе, а также для экономии машинных ресурсов при подборе параметров вычислений, из снимков было вырезано по 2 участка с каждого трека (Центральный и Адлерский районы). Расчетные области показаны на рисунке.

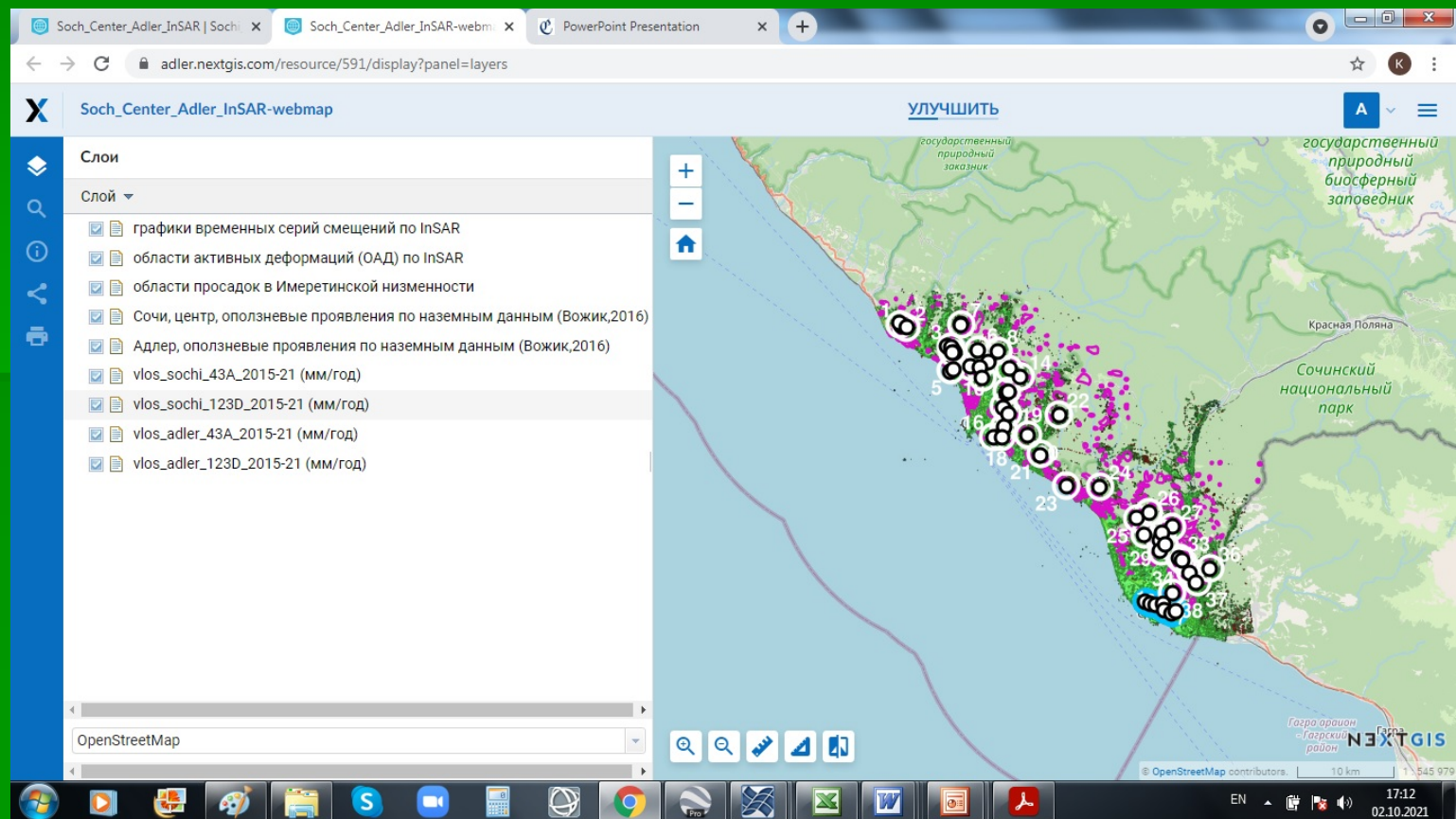
- трек 43A, 167 снимков, 06.04.2015-10.04.2021
  - трек 123D, 140 снимков, 06.05.2015- 6.04.2021
- Интерферометрическая обработка снимков и расчеты полей смещений производились по методу малых базовых линий (SBAS), (Berardini et.al.,2002) реализованном в пакете ENVI SARscape v. 5.3.1.
  - Временные базовые линии варьировались от 12 до 36 дней.
  - Фильтрация интерферограмм перед разверткой фазы осуществлялась фильтром Гольдштейна (значения max и min коэффициентов соответственно 2.5 и 0.3).
  - При учете топографической фазы и геокодировании результатов использовалась ЦМР SRTM v.4.
  - Подробно описание методики расчетов и анализа результатов приведены в работах: *Смолянинова Е.И., Киселева Е.А., Михайлов В.О. Применение РСА-интерферометрии снимков со спутников Sentinel-1 при изучении областей активных деформаций поверхности в прибрежном районе Большого Сочи // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 5. С. 147-155.*
  - Смолянинова Е.И., Михайлов В.О., Дмитриев П.Н. Изучение и мониторинг зон проседания в Имеретинской низменности (район Большого Сочи) методом РСА-интерферометрии разночастотных спутниковых радарных снимков за период 2007-2019// Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 5. С. 103-111.*
  - Построение карты осуществлялось на базе бесплатной версии программного продукта NEXTGIS QGIS



# Карта деформаций поверхности

В результате интерферометрической обработки снимков для каждого трека были вычислены поля смещений земной поверхности или техногенных объектов в направлении визирования спутника (Vlos) и средние скорости смещений Vlos за период наблюдений (2015-2021), которые представлены на карте в виде слоев Vlos. Участки, где абсолютные значения скоростей Vlos больше 20 мм/год – области активных деформаций (ОАД), показаны в соответствии с направлением смещений относительно спутника красным (от спутника) или синим (к спутнику) цветом и маркированы пронумерованными незакрашенными кругами. Для многих ОАД в характерных точках, где смещения хорошо регистрируются и с восходящего, и с нисходящего треков (белые кружки с черной обводкой), построены графики временных серий смещений.

Карта размещена по адресу:  
<https://adler.nextgis.com/resource/591/display?panel=info>





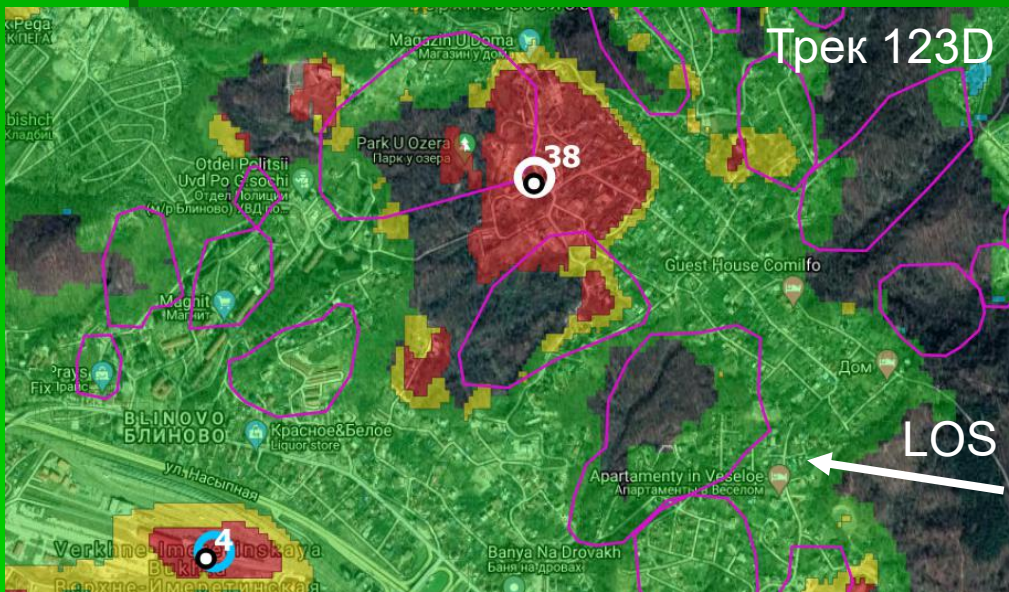
# Увеличенный участок карты (на подложке Google Maps): оползневой участок ОАД N38 ул. Коммунарв и область проседания N4 (Имеретинская низменность)



В Имеретинской низменности ОАД (голубые незакрашенные круги с номерами) обусловлены проседанием, а на склонах – (с отличной от нуля топографией) - оползновыми процессами (пронумерованные незакрашенные белые круги).

ОАД N38 ул. Коммунарв – оползневые массы движутся в юго-западном направлении, поэтому на верхнем рисунке смещения в направлении LOS (положительные), направлены к спутнику на восходящей орбите, а на нижнем – (отрицательные) направлены в направлении LOS от спутника на нисходящей орбите.

Тот факт, что область проседания N4 выглядит одинаково и с восходящего, и с нисходящего треков означает, что смещения здесь практически полностью вертикальные.



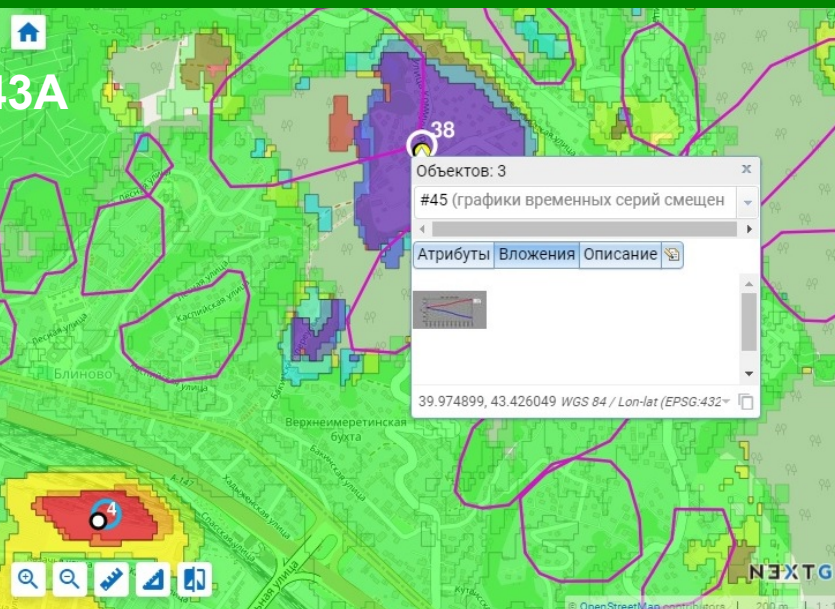
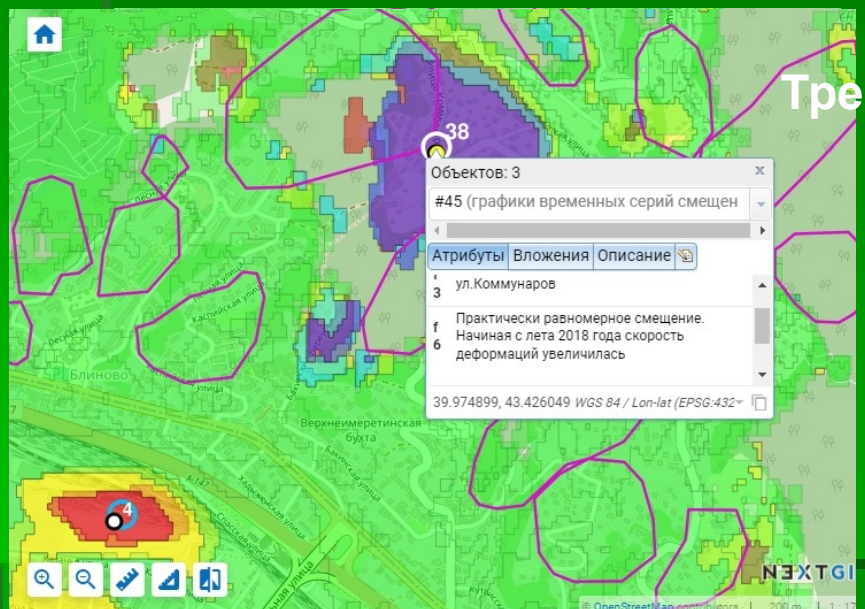
■	-200 - -100
■	-100 - -20
■	-20 - -10
■	-10 - 10
■	10 - 20
■	20 - 100
■	100 - 200
	мм/год



# Скриншот фрагмента со слайда 5 (подложка OpenStreet map)

Бесплатная версия NEXTGIS QGIS предполагает публикацию карт в интернете только на подложке Open Street map.

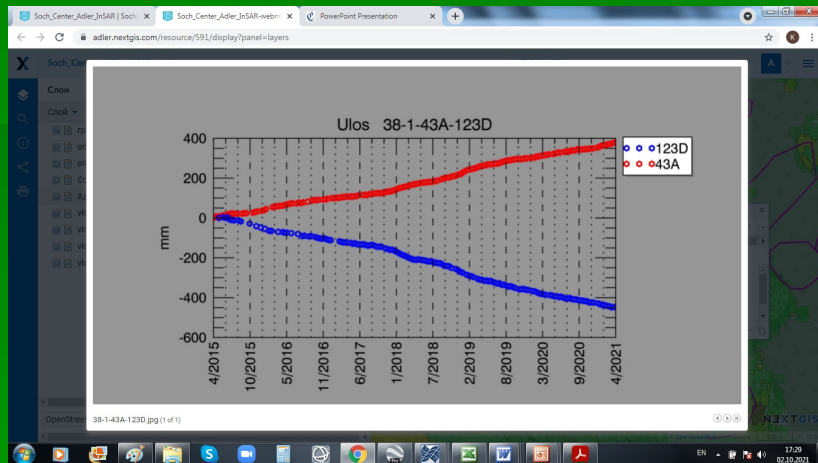
При щелчке мышью на белом кружке с черной обводкой появляется окно, где во вкладке «Вложения» можно увидеть пиктограммы графиков временных серий смещен в этой точке. Щелчок мыши на пиктограмме открывает график на весь экран. Краткое описание графика приводится во вкладке «Атрибуты».



# Графики временных серий

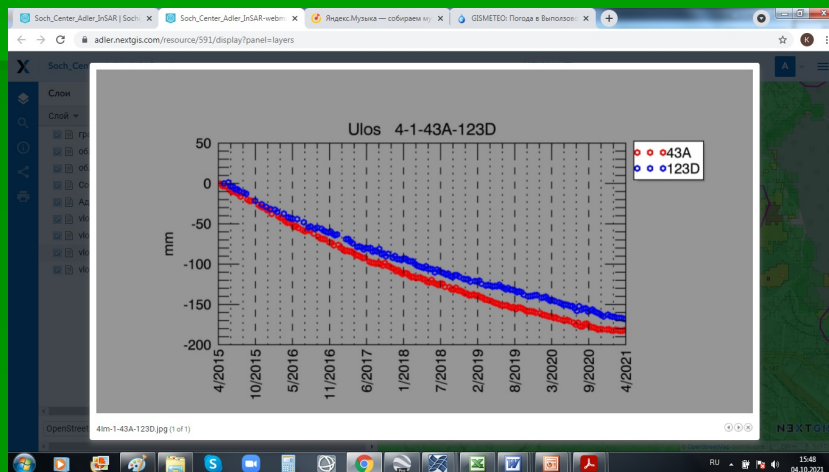
Щелчок мыши на пиктограмме всплывающего окна открывает график на весь экран

## Оползень ул. Коммунаров



Ю-З экспозиция оползневого склона. Восходящий трек 43A – смещения к спутнику (красная кривая). Нисходящий трек 123D – смещения от спутника (синяя кривая)

## Проседание в Имеретинской низменности

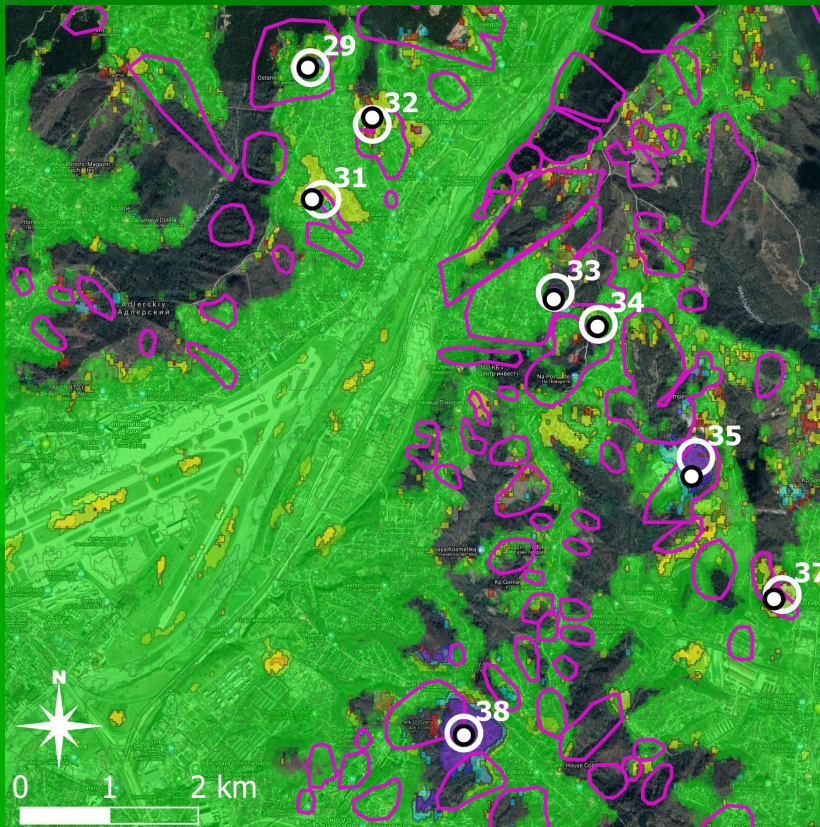


Смещения с обоих треков почти одинаковые - от спутника

При анализе этих графиков следует помнить, что смещения на них представлены в проекции на направление визирования спутника (LOS). Значение смещения вниз по склону может быть оценено исходя из геометрии съемки и ЦМР (экспозиции склона и угла его наклона). В некоторых случаях оно может отличаться от представленного на графике в несколько раз.



# Увеличенный фрагмент карты (Адлерский район) на подложке Google Maps



На карте хорошо видно, что в подавляющем большинстве случаев интерферометрические данные покрывают территории, где имеются хорошо отражающие радарный сигнал здания и сооружения, в то время как области оползневых проявлений по наземным данным (розовые контуры по данным Гидроспецгеологии (Вожик, 2016)) зафиксированы в основном на незастроенных участках.

Это обуславливает перспективность применения этой карты совместно с картами оползневых проявлений и оползневой опасности, построенными на базе полевых наблюдений.

# Выводы

- Совместный анализ представленной карты поверхностных деформаций по InSAR и оползневых проявлений, построенных на базе полевых наблюдений позволит повысить эффективность мониторинга оползневых процессов в прибрежной части Большого Сочи.
- Следует отметить, что на представленной карте отмечены только медленные оползни и просадки, скорости смещений для которых не превышают 200 мм/год. Кроме того, необходимо также учитывать, что некоторые участки поверхности могут быть не видны, так как спутниковый РСА – это локатор бокового обзора, и на снимках в горной местности существуют зоны тени и наложения изображений. В ряде случаев возможно уточнение границ оползневых участков при привлечении снимков с других треков (145А и 21D), так как при этом происходит визирование поверхности под другими углами.
- Обновление карты целесообразно производить раз в полгода. За этот срок происходят хорошо идентифицируемые InSAR деформации.

**Карта размещена по адресу:**

**<https://adler.nextgis.com/resource/591/display?panel=info>**

Работа выполнена в рамках госзадания ИФЗ РАН.