

Обновленная интерактивная карта  
деформаций земной поверхности в  
районе Большого Сочи, построенная по  
снимкам со спутника Sentinel-1A

за период 2015-октябрь 2021гг

***Смолянинова Е.И., Михайлов В.О.***

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

**Методы РСА-интерферометрии (InSAR)** все более широко применяются при мониторинге деформаций Земной поверхности, и в частности оползневых процессов. Одним из современных методов представления результатов InSAR в районах с высокой оползневой опасностью является **создание интерактивных карт поверхностных деформаций** и их размещение в сети Интернет. Интерактивная карта позволяет представить результаты РСА-интерферометрии в наглядной форме и анализировать их совместно с различными наборами данных. Эти карты могут использоваться 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.

**Высокая оползневая опасность в районе Большого Сочи** и все увеличивающаяся антропогенная нагрузка обуславливает актуальность создания таких карт для этого региона.

- В работе (Смолянинова и др., 2022) была представлена интерактивная карта деформаций поверхности, построенная по снимкам со спутника Sentinel-1A с восходящего и нисходящего треков, за период апрель 2015-апрель 2021гг. В данной работе мы представляем обновленную карту деформаций для Центрального и Адлерского районов Большого Сочи, построенную по снимкам с восходящей и нисходящей орбит вплоть до октября 2021г.
- Карта размещена в сети Интернет по адресу <https://adler.nextgis.com/resource/879/display?panel=info>.



# Использованные снимки Sentinel 1А 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 43А, 184 снимка, 06.04.2015-31.10.2021
- трек 123D, 166 снимков, 06.05.2015-25.10.2021

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.

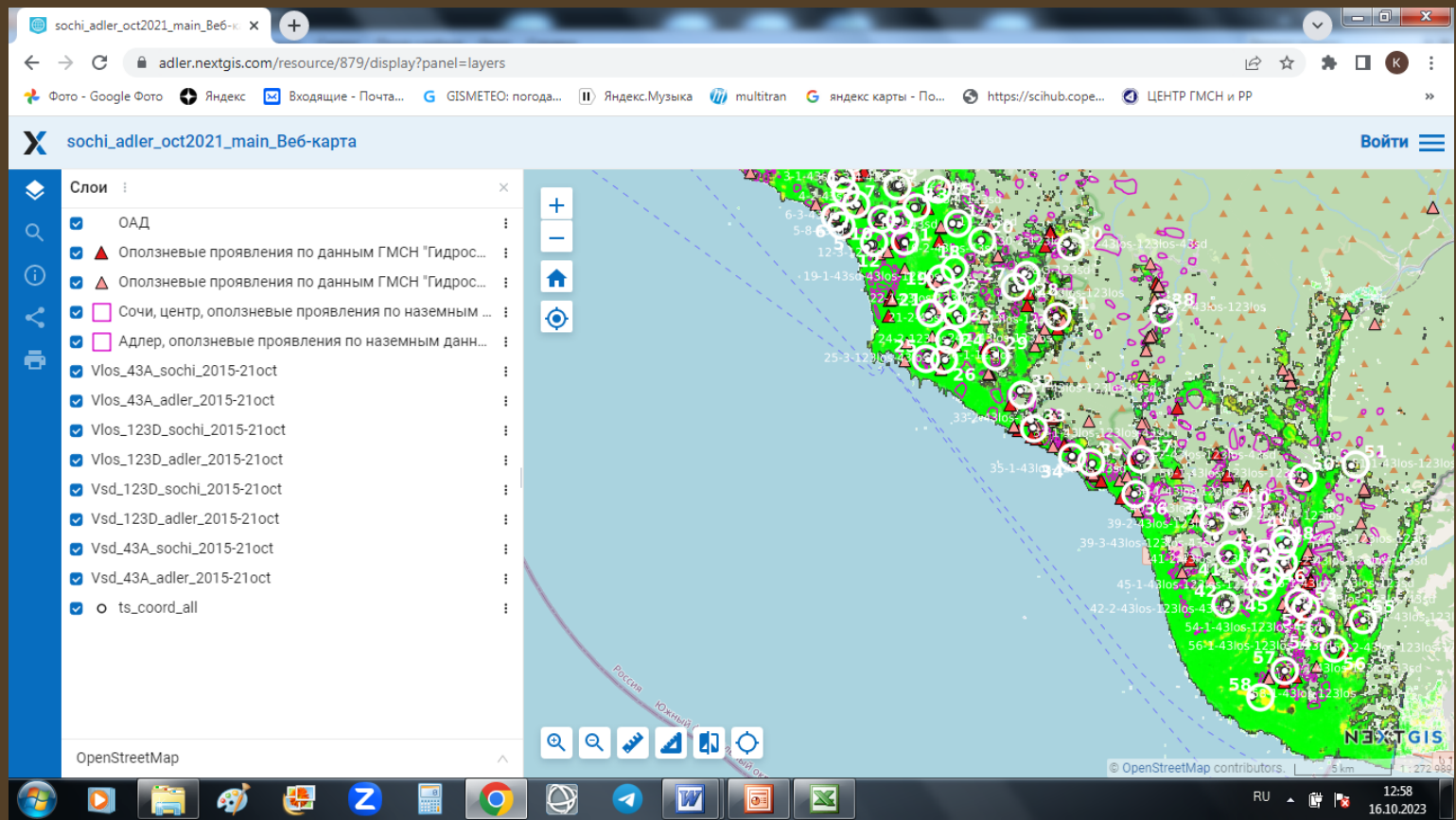
- Временные базовые линии варьировались от 12 до 36 дней.
- Фильтрация интерферограмм перед разверткой фазы осуществлялась фильтром Гольдштейна (значения max и min коэффициентов соответственно 2.5 и 0.3).
- При учете топографической фазы и геокодировании результатов использовалась ЦМР SRTM v.4.
- Подробно 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. Выявление и мониторинг областей активных деформаций в Адлерском районе Большого Сочи путём анализа серий разночастотных спутниковых радарных снимков за 2007–2020 гг. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 4. С. 55-65.

Построение карты осуществлялось с использованием ознакомительной версии ПО NextGIS QGIS

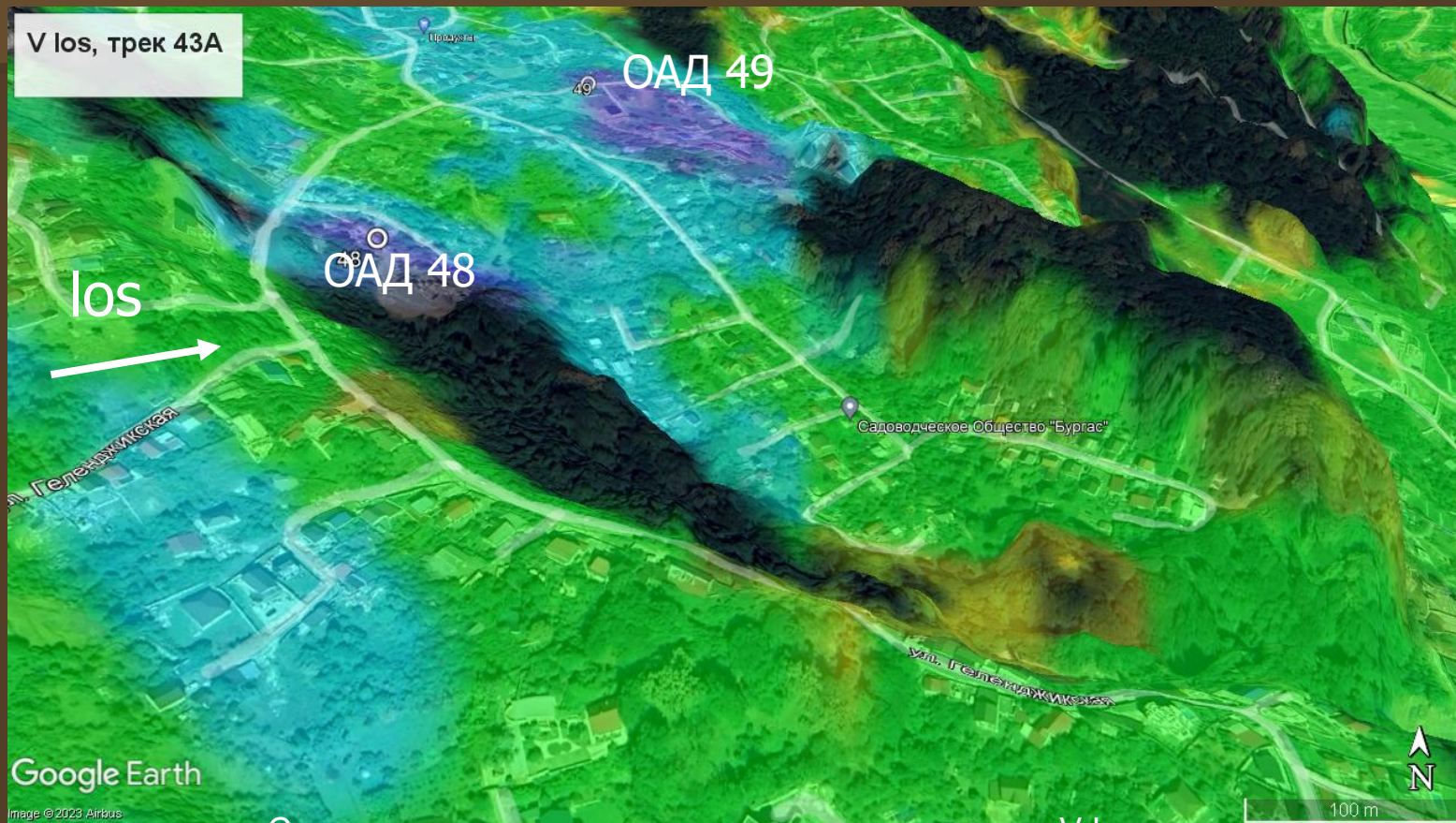
# Карта деформаций поверхности

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. Кроме того, на обновленной карте также представлены в виде слоев результаты оценки скоростей вдоль склонов Vsd и оползневые проявления, зафиксированные наземными методами по данным ФГБУ «Гидроспецгеология» (<https://egpmapold.geomonitoring.ru/>). На карте выделены области активных деформаций (ОАД), где значения Vlos превышают заданный порог в 10мм/год. Наиболее существенные ОАД промаркированы, и для каждой из них во всплывающих окнах представлены графики временных серий смещений в различных точках склона вместе с гистограммами выпадения осадков, построенными по данным [http://meteocenter.net/37171\\_fact.htm](http://meteocenter.net/37171_fact.htm).

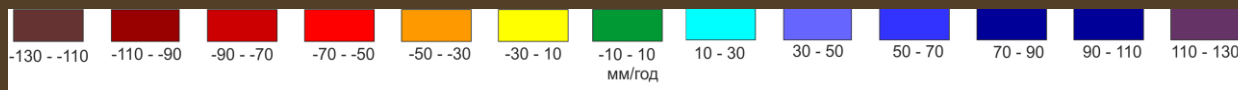
Карта размещена в сети Интернет по адресу <https://adler.nextgis.com/resource/879/display?panel=info>.



# Фрагмент карты с. Высокое со слоем Vlos (трек 43А) на подложке Google Earth

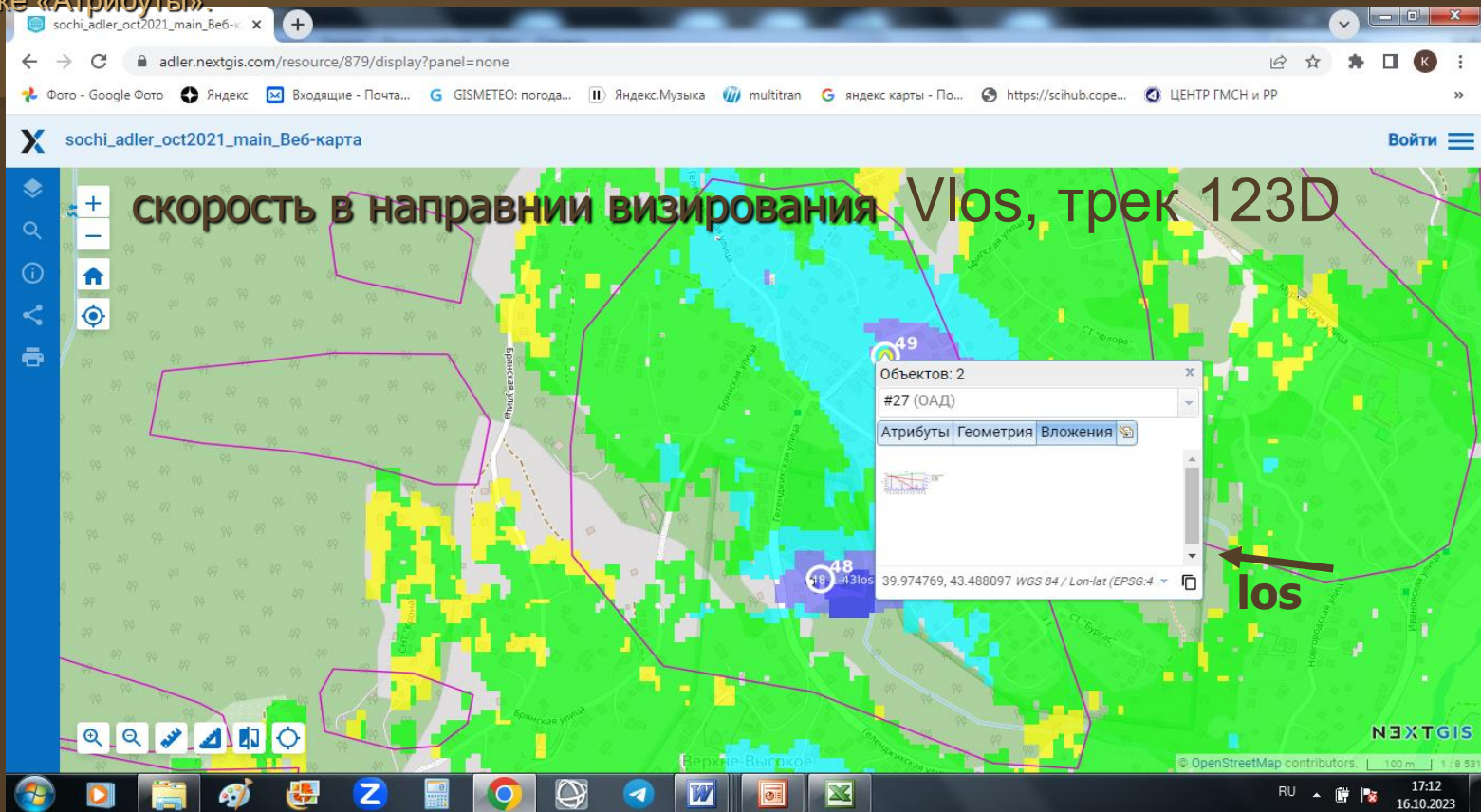


Скорость в направлении визирования спутника,  $V_{los}$  от спутника – отрицательные значения, к спутнику - положительные

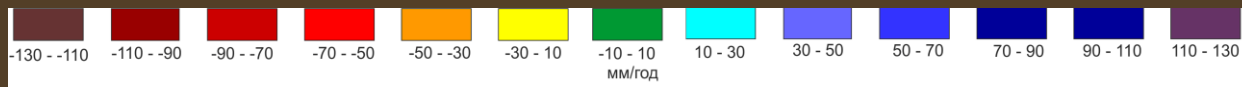


# Скриншот увеличенного фрагмента карты с.Высокое

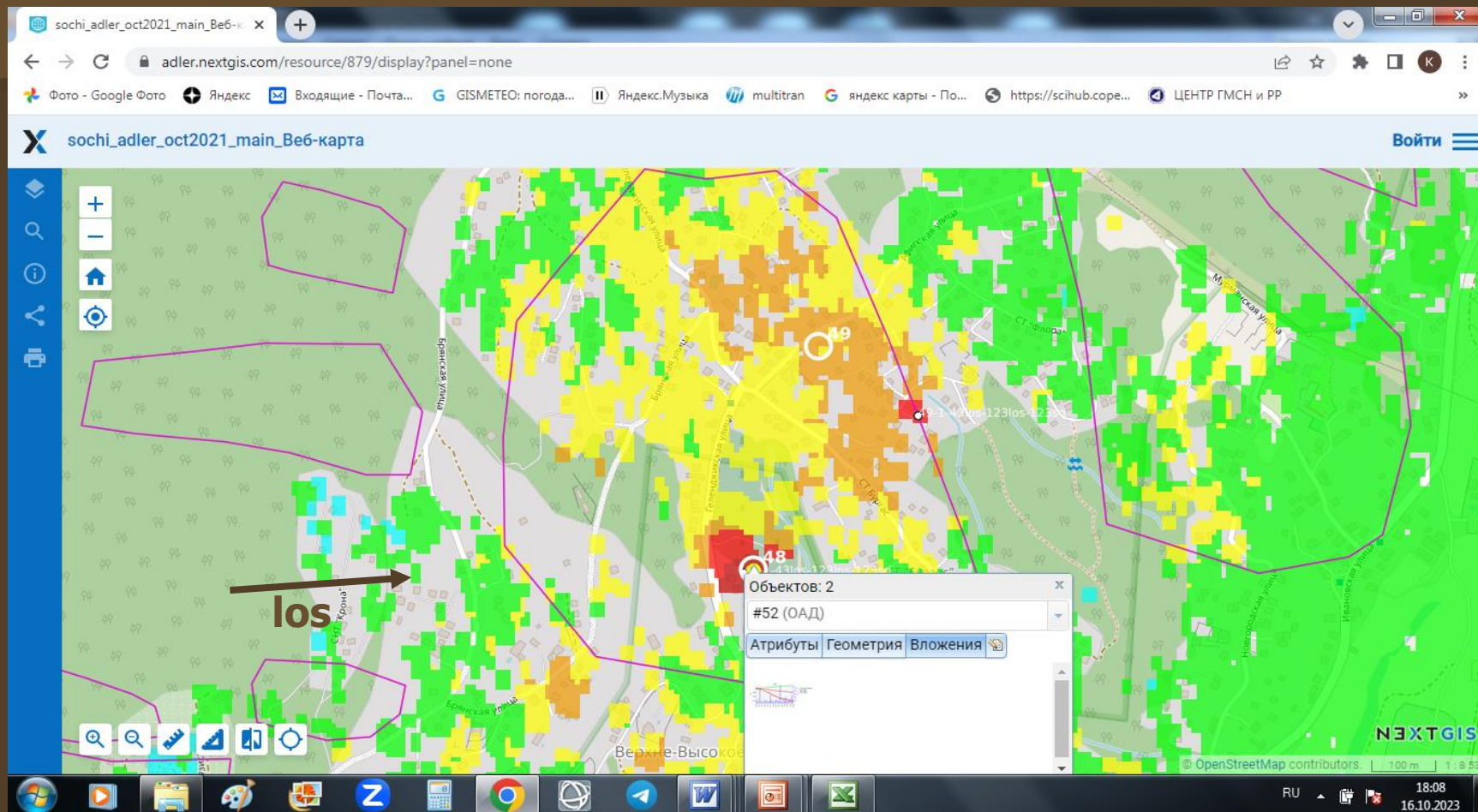
Бесплатная версия NEXTGIS QGIS предполагает публикацию карт в интернете только на подложке Open Street map. При щелчке мышью на белом кружке с номером ОАД появляется окно, где во вкладке «Вложения» можно увидеть пиктограммы графиков временных серий для этой ОАД, в промаркированных точках (белые кружочки с черной обводкой). Щелчок мыши на пиктограмме открывает график на весь экран. Дополнительная информация приводится во вкладке «Атрибуты».



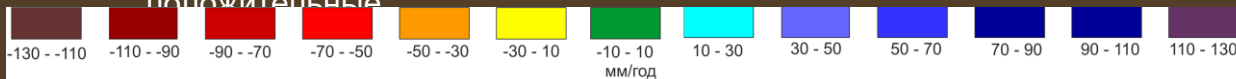
Скорость в направлении визирования спутника,  $V_{los}$   
от спутника – отрицательные значения, к спутнику - положительные



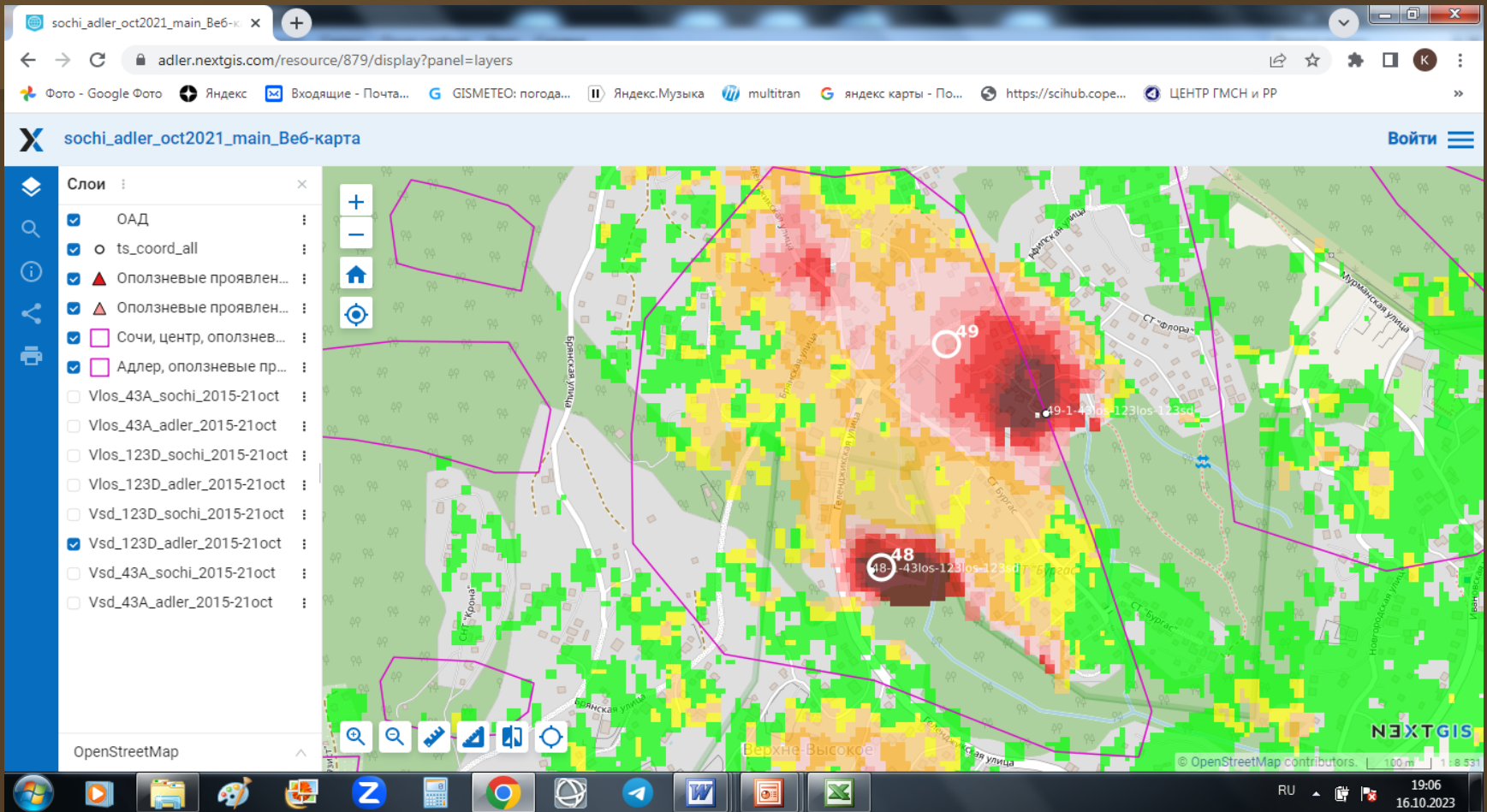
# Скриншот увеличенного фрагмента карты с.Высокое Vlos, трек 43А



Скорость в направлении визирования спутника,  $V_{los}$   
от спутника – отрицательные значения, к спутнику -  
положительные



# Скриншот увеличенного фрагмента карты с.Высокое скорость вниз по склону $V_{sd}$ , трек 123D (Vlos-слайд 5)



Скорость вниз по склону,  $V_{sd}$

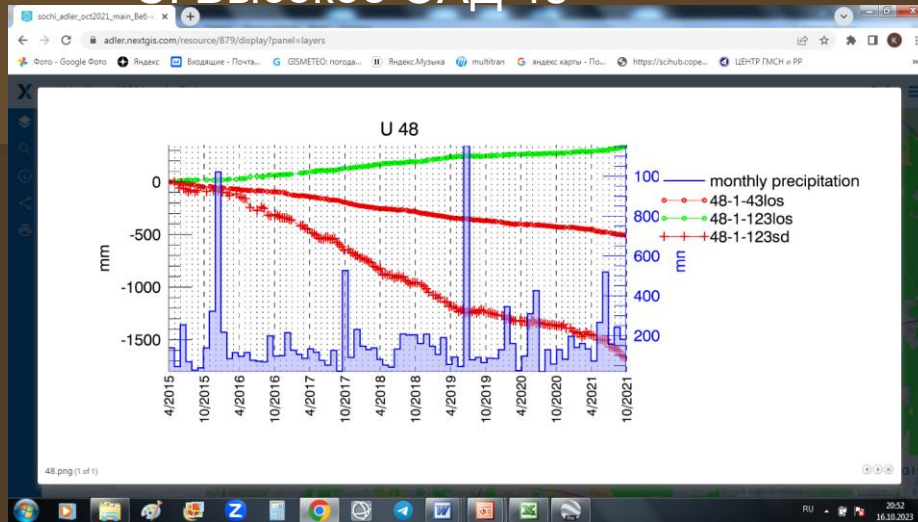




# Графики временных серий

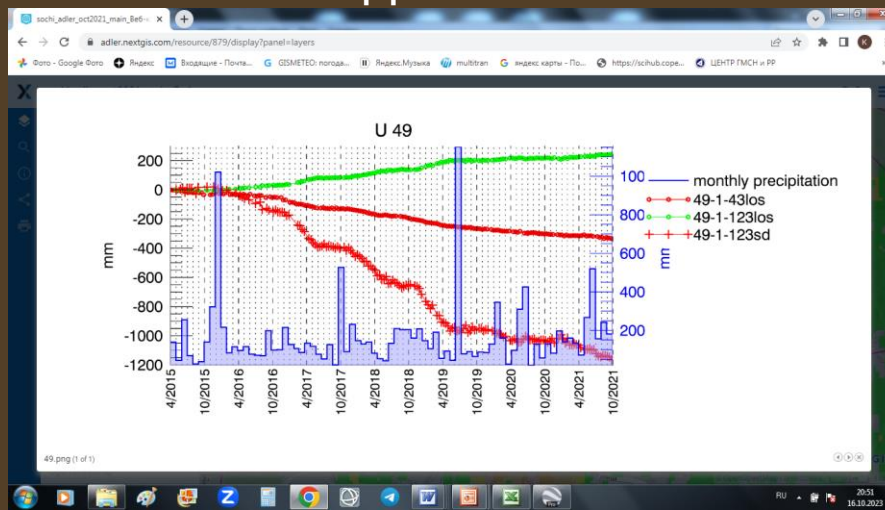
Щелчок мыши на пиктограмме всплывающего окна открывает график на весь экран

## С. Высокое ОАД 48



Ю-В экспозиция оползневого склона. Восходящий трек 43А – смещения от спутника (красная кривая). Нисходящий трек 123D – смещения к спутнику (зеленая кривая)

## С. Высокое ОАД 49



Значение смещения вниз по склону Usd оцениваются исходя из геометрии съемки и ЦМР (экспозиции склона и угла его наклона). В данном случае скорости смещений вниз по склону Vsd оценивались с использованием SARscape как проекция скорости в направлении визирования спутника Vlos на направление максимальной крутизны склона. Эти значения следует рассматривать только как оценочные, т.к. даже малые вариации ориентации склона (что наблюдается практически всегда) очень существенно влияют на величину проекции. На карте показаны только значения скоростей вниз по склону Vsd, которые мы считаем достаточно достоверными. Исключены положительные значения, т.к. движения вверх по склону представляются маловероятными. Кроме того, основываясь на работе (Notti, 2014) участки, где значения Vsd превышают значения Vlos более, чем в 5 раз также не рассматриваются. Гистограмма выпадения осадков приведена по данным [http://meteocenter.net/37171\\_fact.htm](http://meteocenter.net/37171_fact.htm).

# Выводы

Представленная интерактивная карта деформаций земной поверхности в таком оползнеопасном районе как Большого Сочи может быть использована при решении широкого круга практических задач в строительстве, охране окружающей среды и пр. На данную карту могут быть добавлены дополнительные слои с любыми данными для последующего совместного анализа с поверхностными деформациями по РСА-интерферометрии. Планируется дальнейшее обновление карты.

Следует помнить, что в силу особенностей метода РСА-интерферометрии, 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.

Карта размещена в сети Интернет по адресу:  
<https://adler.nextgis.com/resource/879/display?panel=info>

Работа выполнена в рамках госзадания ИФЗ РАН.