



**Мониторинг оползневой активности склонов в
районе Большого Сочи за период 2015-2024 гг. по
данным РСА-интерферометрии**

Е.И. Смольянинова, В.О. Михайлов

*Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта
Российской академии наук (ИФЗ РАН) Москва,
123242, Россия. E-mail: katsmol@mail.ru*

Методы интерферометрической обработки данных спутниковых радаров с синтезированной апертурой (РСА-интерферометрии или в англоязычной литературе InSAR) успешно используются при изучении и мониторинге оползневых процессов в различных районах мира (например, обзоры Solari et. al., 2020; Mondini et al., 2021).

Интенсивная застройка территорий Большого Сочи, сопровождается активизацией оползневых процессов, что обуславливает необходимость привлечения современных методов мониторинга. Характеризующаяся высокой оползневой опасностью прибрежная часть Большого Сочи обладает очень благоприятными условиями для применения методов InSAR.

Сотрудники ИФЗ РАН более 10 лет занимаются вопросами изучения оползневых процессов в этом районе с помощью InSAR. В работах (Смольянинова и др, 2019, 2021) было показано, что в условиях прибрежной части Большого Сочи карты поверхностных деформаций по РСА интерферометрии и карты оползневых проявлений и оползневой опасности, построенные на базе полевых наблюдений, дополняют друг друга и их целесообразно использовать совместно.

В работах (Смольянинова и др., 2022, 2024) были представлены интерактивные карты деформаций поверхности, построенные по снимкам со спутника Sentinel-1A с восходящего и нисходящего треков, за периоды с апреля 2015 по апрель 2021 и апрель 2023 гг соответственно. Обновление карты, с учетом постоянно удлиняющейся серии снимков, осуществляется каждые полгода.

В данной работе мы представляем очередное обновление карты деформаций для Центрального и Адлерского районов Большого Сочи, построенной по снимкам с восходящей и нисходящей орбит вплоть до апреля 2024г, и демонстрируем возможности использования этой карт для мониторинга оползневых процессов на примере коттеджного поселка «Горная Олимпия-2».

Последняя версия карты размещена в сети Интернет. по адресу <https://adler.nextgis.com/resource/1181/display?panel=info>.

Использованные снимки Sentinel 1A и технология обработки



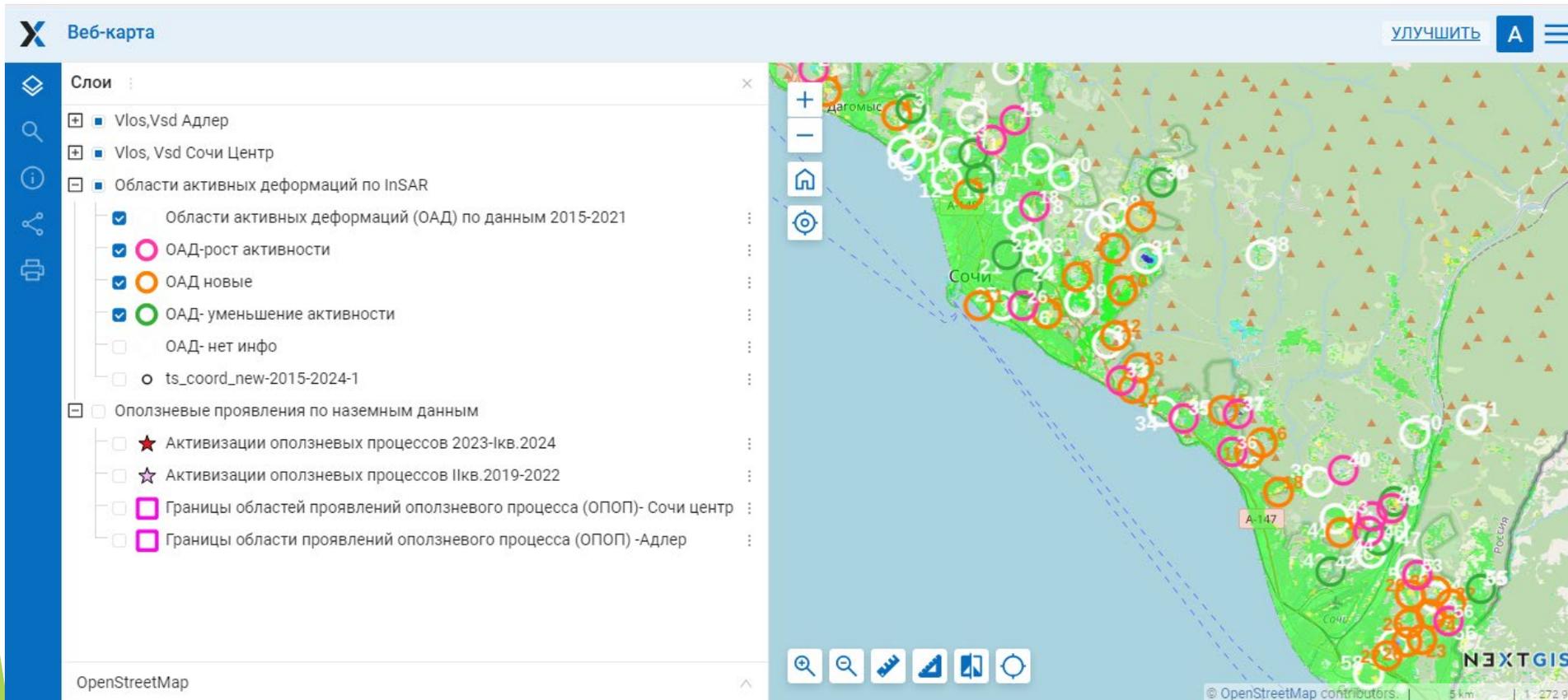
Для того, чтобы провести расчеты только в густонаселенной прибрежной полосе, а также для экономии машинных ресурсов при подборе параметров вычислений, из снимков было вырезано по 2 участка с каждого трека (Центральный и Адлерский районы). Расчетные области показаны на рисунке.

- ▶ трек 43A, 254 снимка апрель 2015-апрель 2024
- ▶ трек 123D, 236 снимков, май 2015-апрель 2024

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.

- ▶ 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.

Карта деформаций поверхности по InSAR



По результатам интерферометрической обработки снимков на карте представлены в виде слоев средние значения скоростей смещений в направлении визирования спутника Vlos и вдоль склона Vsd для двух периодов: 2015-2021 и 2021-2024. Для обоих периодов на карте выделены области активных деформаций (OAD), где значения Vlos превышают заданный порог в 10 мм/год. При расчетах за период 2015-2021 было идентифицировано 58 наиболее значительных OAD. При расчетах за период 2021-2024 было зафиксировано 27 новых OAD, а из 58-ми выявленных за предыдущий период в 15 OAD наблюдался рост активности. Уменьшение активности отмечалось в 11 OAD, в 18 OAD изменений активности не зафиксировано. В 11 OAD зарегистрировать изменения активности оказалось затруднительным из-за существенных изменений отражающей поверхности в период съемки. Вышеперечисленные группы OAD отмечены на карте кругами различных цветов, что позволяет анализировать изменения активности конкретных участков за период наблюдений.

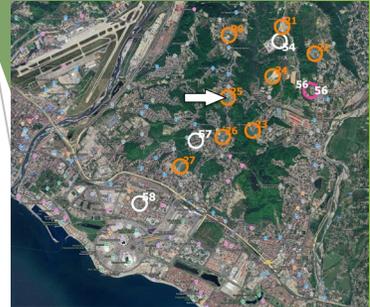
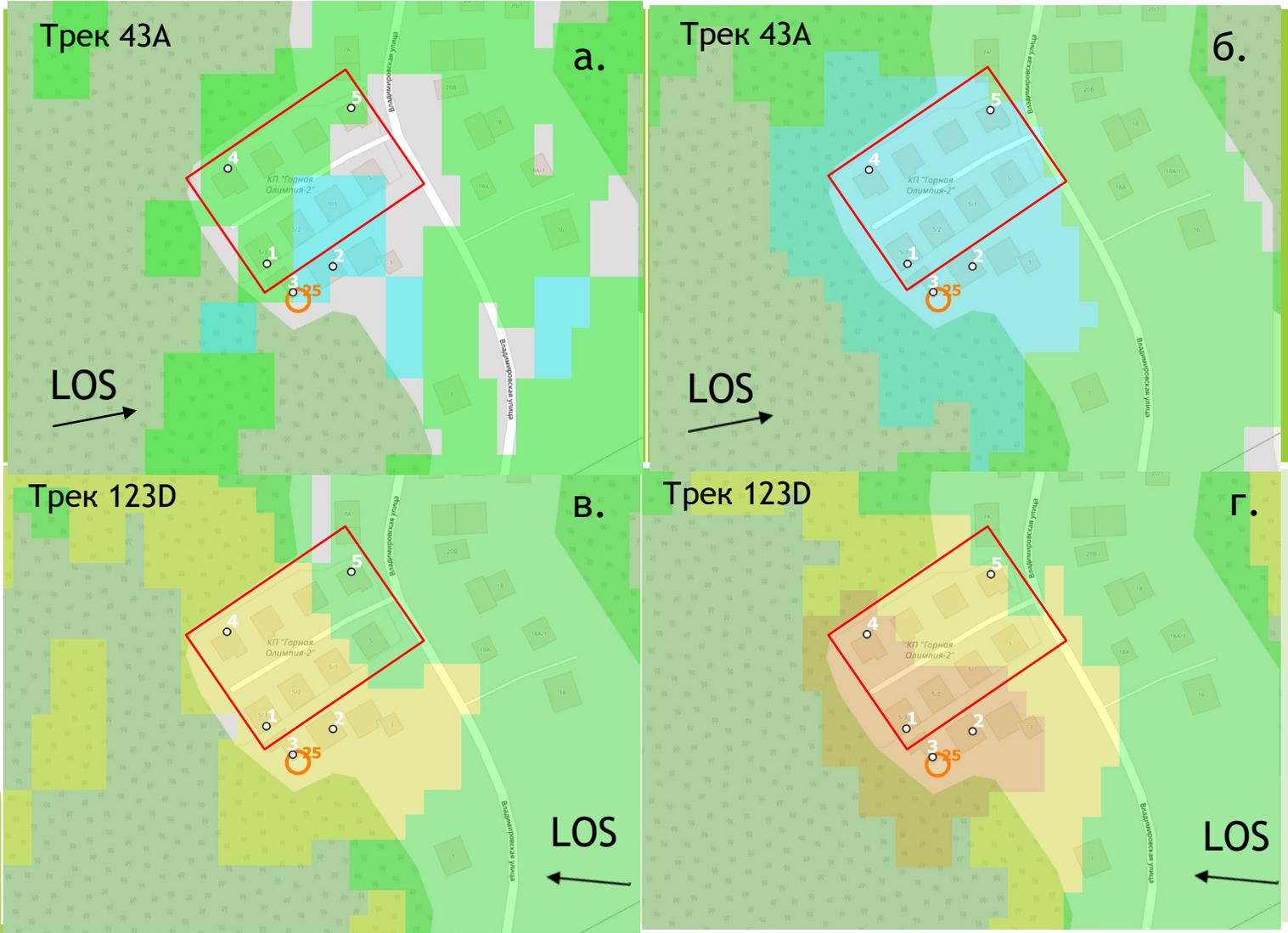
Карта построена с использованием открытого отечественного ПО QGIS и платформы NextGIS Web и размещена по адресу: <https://adler.nextgis.com/resource/1181/display?panel=info>

Фрагмент карты в окрестности КП «Горная Олимпия-2» ID 25п

Средние скорости смещений в направлении визирования спутника V_{los} , мм/год

2015-2021

2021-2024



На этом слайде приведен пример использования карты для анализа динамики оползневой активности в окрестности КП «Горная Олимпия-2». Сравнение результатов расчетов для двух периодов 2015-21 и 2021-24 гг. показывает увеличение со временем площади ОАД по данным с восходящего трека 43А (рис. а и б), а по данным с нисходящего трека 123D (рис.в и г) наблюдается также увеличение значений средних скоростей V_{los} с -10-30мм/год до -30-50мм/год.

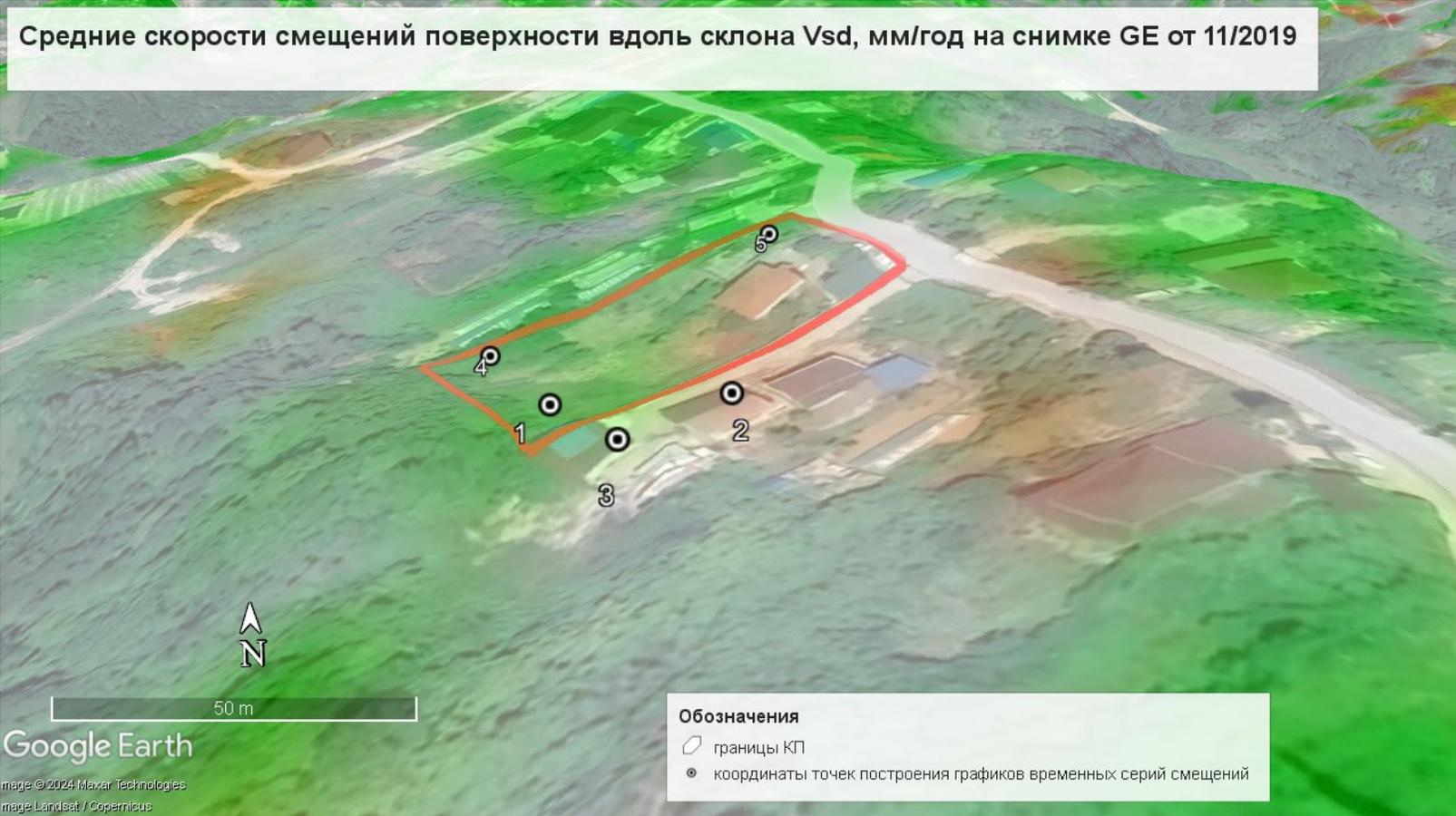
Кружками с цифрами показаны точки, для которых построены графики временных серий смещений (слайд 8). Красный контур – границы КП.

Фрагмент карты в окрестности КП «Горная Олимпия-2» ID 25n

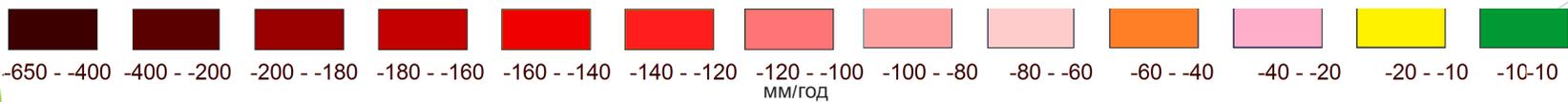
на подложке Google Earth

Средние скорости смещений вдоль склона Vsd, мм/год

До начала строительства коттеджного поселка (КП)



На следующих двух слайдах территория вокруг КП «Горная Олимпия» с показанными слоями средних скоростей смещений вдоль склона Vsd, представлена на снимках GE, соответствующих периодам, для которых были произведены расчеты. Видно, что строительство КП «Горная Олимпия-2» началось весной 2020 года. До этого момента территория не была застроена. В верхней части склона было одно здание. В основном смещения на территории, где будет строиться КП были близки к нулю. (Vsd – зеленый цвет), а вот к югу, там где уже имелись строения и частично на месте будущих коттеджей, скорости смещений вдоль склона Vsd составляли порядка 30-50мм/год



Фрагмент карты в окрестности КП «Горная Олимпия-2» ID 25n

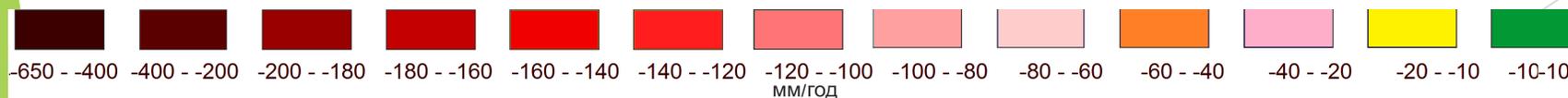
на подложке Google Earth

Средние скорости смещений вдоль склона V_{sd} , мм/год

2024 год



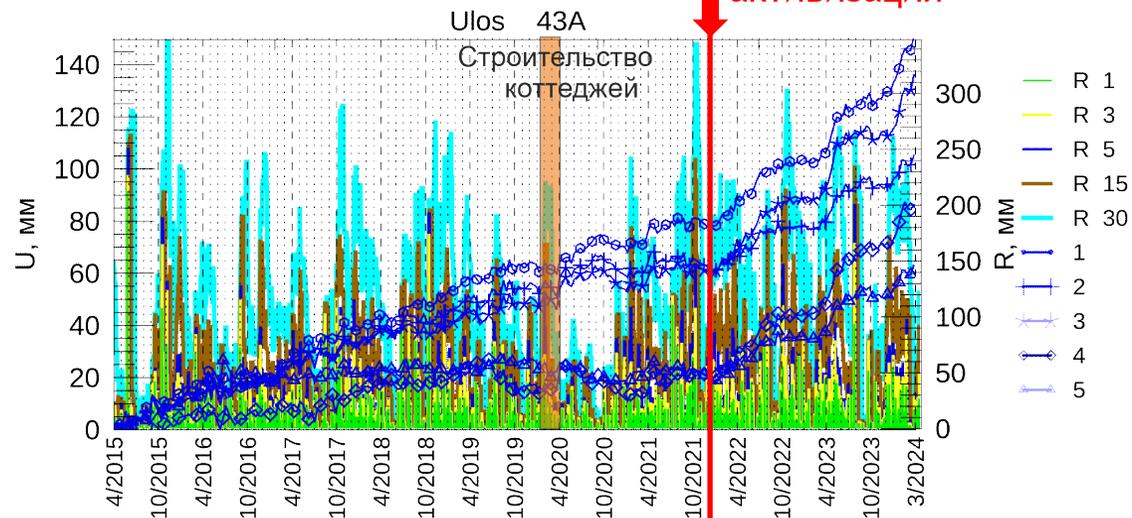
На этом слайде на снимке GE от апреля 2024 показан слой V_{sd} по результатам расчетов для периода 2021-24. Отмечается общий рост величин скоростей смещений по сравнению с предыдущим периодом для всей исследуемой области. Максимальные скорости смещений вдоль склона фиксируются в непосредственной близости от южной границы коттеджного поселка и достигают 300 мм/год. Наличие смещений даже в верхней части КП, где по результатам расчетов смещения наименее интенсивные, подтверждено в ходе визуального обследования. Здесь представлены фотографии, сделанные в октябре этого года Е. Смольяниновой у входа в КП. К сожалению, обследовать территорию, где по спутниковым данным смещения существенно более интенсивные, не удалось из-за отсутствия допуска в КП.



КП «Горная Олимпия-2»

Графики временных серий смещений U и выпадения осадков R , просуммированных за 3, 5, 15 и 30 дней.
(данные об осадках- архив gr5.ru)

В направлении визирования спутника



активизация

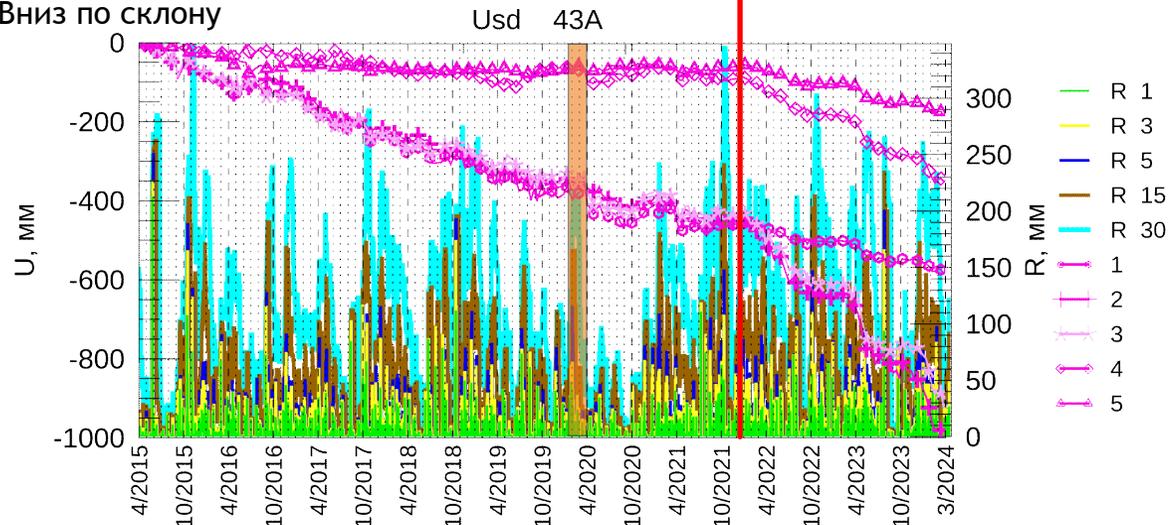
Ulos 43A
Строительство
коттеджей

Расположение точек, для которых построены графики временных серий смещений



Северная часть коттеджного поселка до начала строительства и после вплоть до декабря 2021 года находилась в стабильном состоянии (точки 4 и 5). Точки 1, 2 и 3 смещались и до начала строительства со средней скоростью вдоль склона порядка 60 мм/год. После строительства КП, вследствие интенсивных осадков в феврале 2020, в этих точках произошла синхронная кратковременная подвижка с последующими пертурбациями. После этого на протяжении летнего периода 2021 года с малым количеством выпавших осадков, ситуация была относительно стабильной. Обильные осенне-зимние осадки 2021-22 года инициировали активизацию оползневой процесс по всей рассматриваемой области. Кривые Ulos и Usd во всех точках меняются синхронно. Графики имеют ступенчатый характер. Вслед за длительными и обильными осадками наблюдаются периоды активизации смещений длительностью в несколько месяцев, которые при уменьшении количества выпадающих осадков, сменяются менее продолжительными периодами стабильности. Максимальные скорости до 25 мм/мес зафиксированы вне территории КП у южной его границы в точках 2 и 3. На территории КП наиболее существенные смещения происходили в окрестности точки 4, с начала 2022 года они составили около 200 мм. В точках 1 и 5 за тот же период смещения были менее значительными и не превышали 50 мм.

Вниз по склону



Usd 43A

Выводы

- В прибрежной части Большого Сочи применение спутниковой РСА-интерферометрии позволяет успешно осуществлять мониторинг оползневых процессов: выявлять области оползневой активности и следить за динамикой поведения оползневых масс.
- В Центральном и Адлерском районах Большого Сочи при расчетах за период 2015-2021 было идентифицировано 58 наиболее значительных ОАД. При расчетах за период 2021-2024 было зафиксировано 27 новых ОАД, а из 58-ми выявленных за предыдущий период в 15 ОАД наблюдался рост активности (более высокие скорости деформаций и/или увеличение площади ОАД).
- Приведенный пример анализа результатов InSAR для КП Горная Олимпия-2 позволяет отметить перспективность этого метода при мониторинге оползневой активности в прибрежных районах с плотной застройкой, в частности вновь построенных коттеджных поселков, где применение наземных методов затруднено. На территории КП Горная Олимпия-2 зафиксирован опасный рост оползневой активности, требующий постоянного мониторинга. Обладая целым рядом преимуществ, метод InSAR существенно дешевле наземных методов. Мониторинг оползневых процессов с помощью этого метода может помочь принятию своевременных мер по предотвращению негативных последствий активизации оползневых процессов.