

# Возможности применения РСА-интерферометрии серий разночастотных спутниковых радарных снимков с различной геометрией съемки для изучения и мониторинга оползневой активности в районе Большого Сочи (на примере окрестностей Адлера 2007-2019гг.)

**Смолянинова Е.И., Михайлов В.О., Дмитриев П.Н.**  
Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия



В мировой практике РСА-интерферометрия (InSAR) широко используется для картирования и мониторинга оползневых процессов. Накопление архивных радарных снимков за почти тридцатилетний период, регулярная съемка с новых спутников Sentinel 1А и В и бесплатное распространение снимков с этих спутников через Интернет, открывают новые перспективы применения методов РСА-интерферометрии, в том числе и для изучения и мониторинга оползней. Количество и активность оползневых структур в районе Большого Сочи постоянно растет вследствие увеличения антропогенной нагрузки. Характерные для этого района медленные оползневые смещения хорошо фиксируются методами РСА-интерферометрии. В целом, прибрежная часть Большого Сочи очень благоприятна для применения методов InSAR. Плотная застройка устойчиво отражает радарный сигнал, сравнительно невысокий (до 500м) и достаточно пологий рельеф позволяет минимизировать топографические погрешности, а отсутствие снега в зимний период дает возможность использовать круглогодичную съемку.

В ИФЗ работы по применению методов РСА-интерферометрии при изучении и мониторинге оползневых структур в районе Большого Сочи ведутся с 2012 года (Дмитриев и др., 2012, Михайлов и др., 2013, 2016, Смольянинова, 2018, 2019). В данной работе представлены результаты, полученные с применением методов радарной интерферометрии к снимкам с различных спутников, за период с 2007 по 2019 год для окрестностей г. Адлера.

# Использованные снимки и технология обработки

- ALOS-1 - трек 588A, 18 снимков, 22.01.2007-17.09.2010),
- Envisat - трек 35D, 13 снимков, 29.11.2010-23.03.2012),
- Sentinel-1A - трек 43A, 131 снимок, 06.04.2015-17.12.2019,
- трек 123D, 113 снимок, 06.05.2015-23.12.2019,
- трек 145A, 33 снимка, 30.10.2018-12.12.2019,
- трек 21D, 31 снимок, 27.11.2018-09.01.2020.

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.

При обработке снимков со спутника ALOS-1 временные базовые линии варьировались от 46 до 365 дней, Envisat – от 30 до 365 дней, Sentinel-1A (S-1A) от 12 до 36 дней.

Фильтрация интерферограмм перед разверткой фазы осуществлялась фильтром Гольдштейна (значения max и min коэффициентов соответственно 2.5 и 0.3).

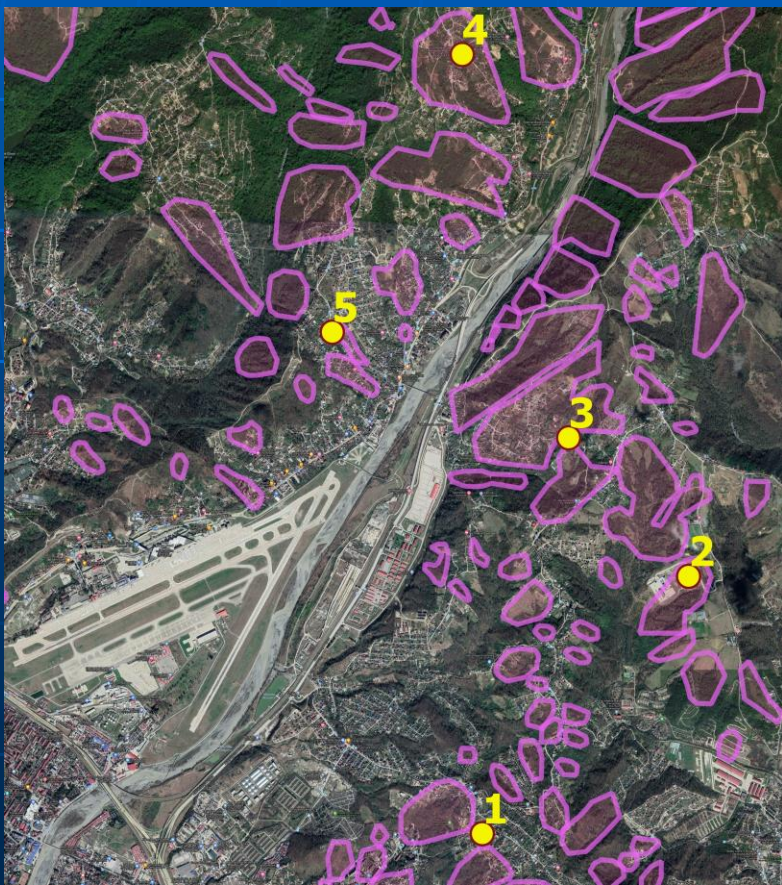
При учете топографической фазы и геокодировании результатов использовалась ЦМР SRTM v.4.

Выполненный анализ методики проведения мониторинга оползневых склонов с точки зрения объемов вычислений и их точности показал, что, если использовать снимки только спутника Sentinel-1A, двухгодичная серия снимков является оптимальной. Изменения динамики смещений хорошо фиксируются при добавлении новой серии снимков за полугодовой период<sub>з</sub>



# Результаты

- Для всех наборов снимков построены карты скоростей деформаций поверхности за соответствующие периоды времени. На картах, построенных для всего Адлерского района отдельные оползневые структуры в силу их малых размеров различимы только при большом увеличении, поэтому в данной работе показаны увеличенные фрагменты карт для трех оползневых участков с разной экспозицией склонов в с. Верхневеселое (ул. Коммунаров) (1), в с. Черешня (ул. Владимировская) (3) и с. Высокое (4).
- Динамика смещений в период 2007-2019 проанализирована по всем 5ти участкам.



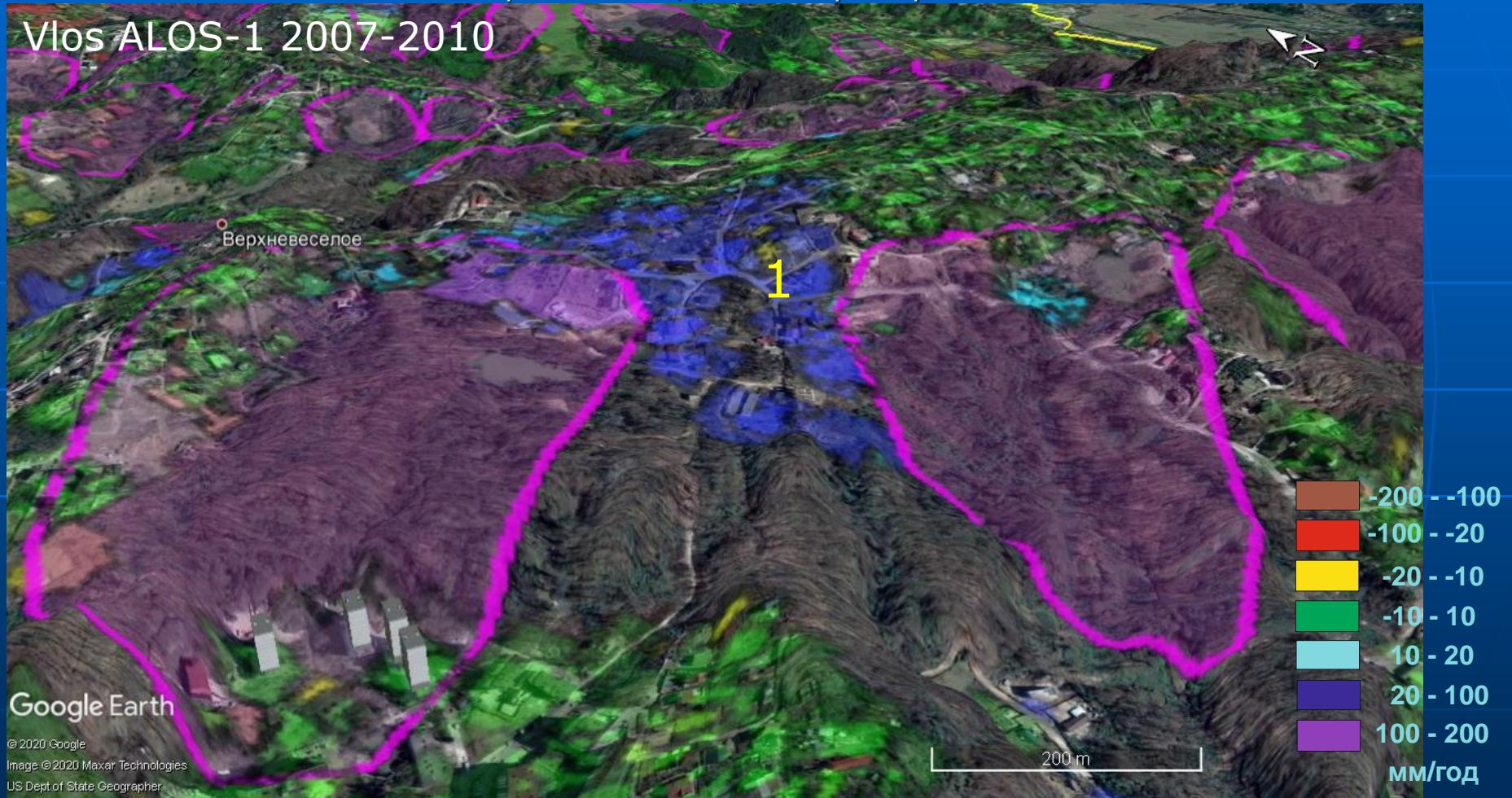
<b>N</b>	<b>Местоположение оползневого участка</b>	<b>координаты</b>	
1	Ул. Коммунаров	39.976	43.426
2	Ул. Комарова	39.998	43.445
3	Ул. Владимировская	39.985	43.457
4	с. Высокое	39.974	43.487
5	с. Молдовка	39.960	43.465

Розовым цветом показаны области оползневых проявлений по наземным данным (Вожик. 2016).



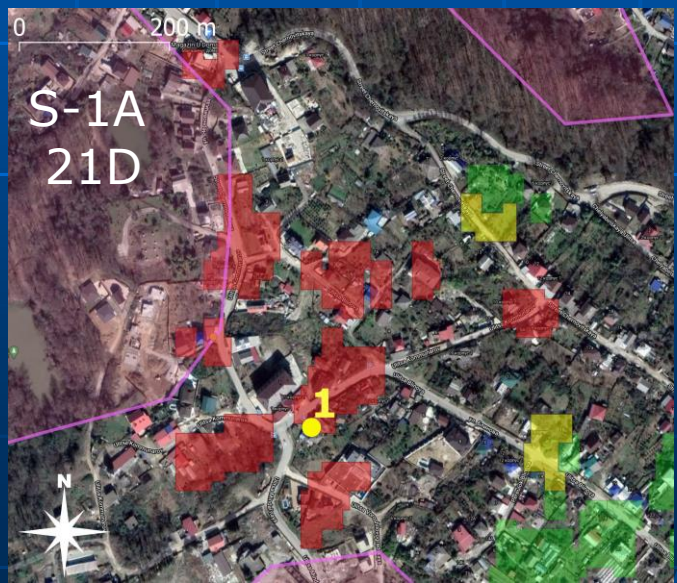
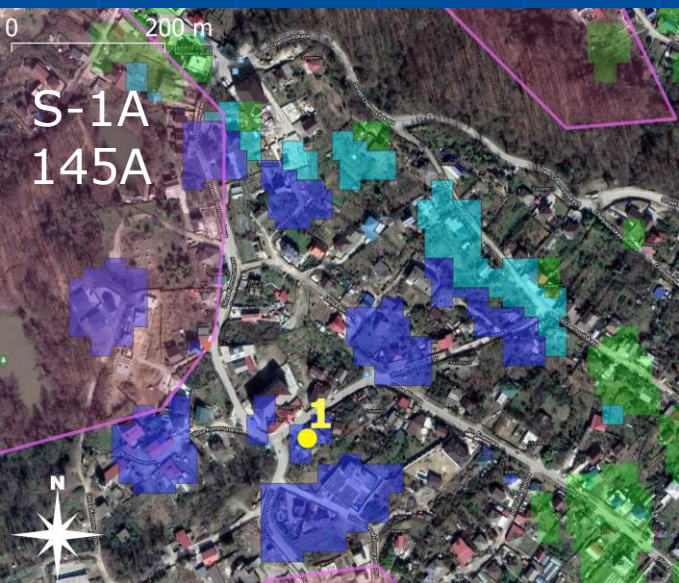
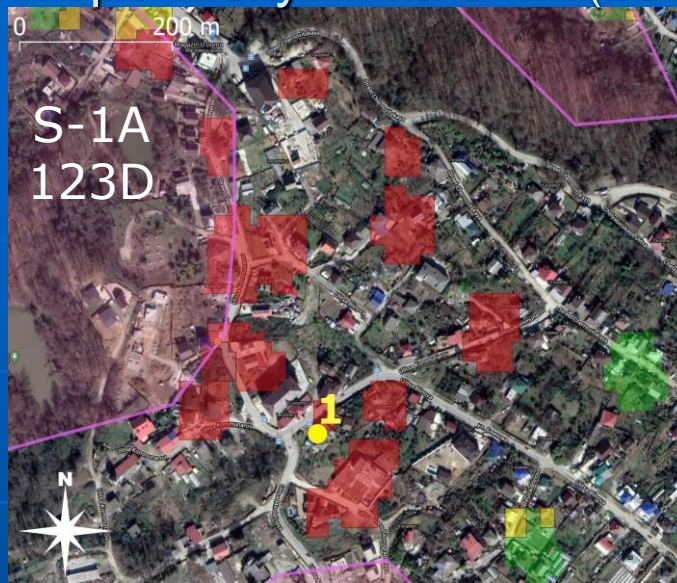
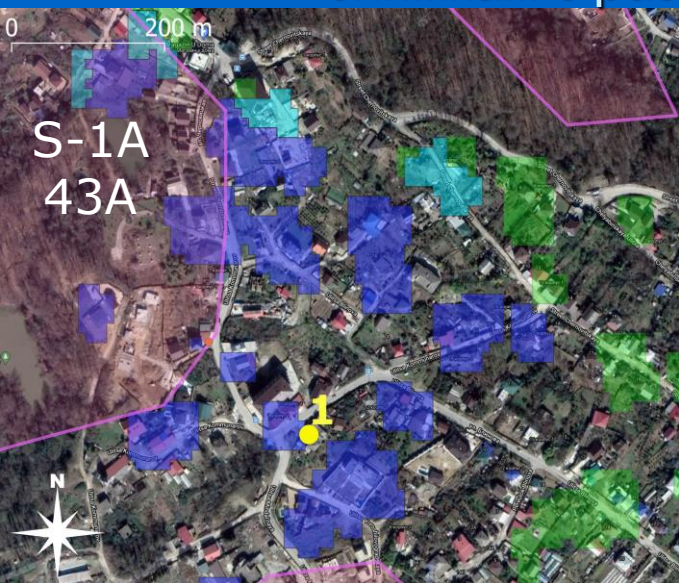
# Ул. Коммунар

Оползневой участок был впервые идентифицирован по карте средних скоростей смещений Vlos, построенной по снимкам со спутника ALOS-1. По наземным данным оползневые проявления здесь не зафиксированы.





# Фрагменты карт Vios оползневое участка на ул. Коммунаров по снимкам с разных орбит спутника S-1A (2018-2019)

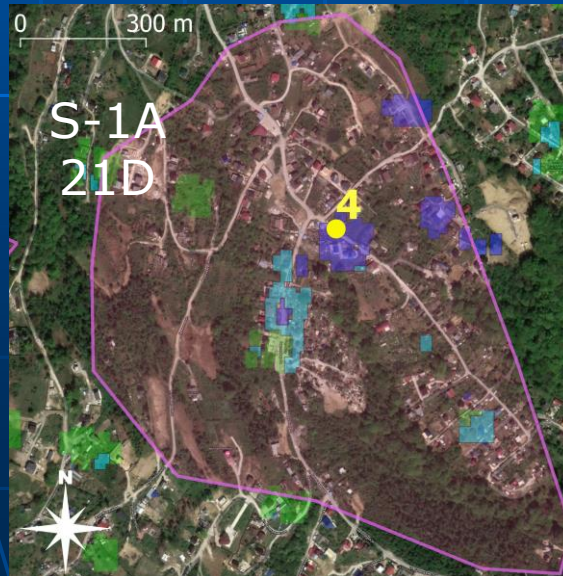
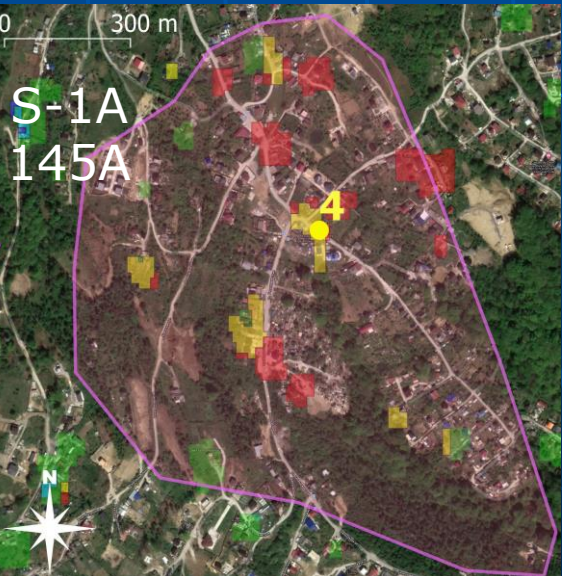
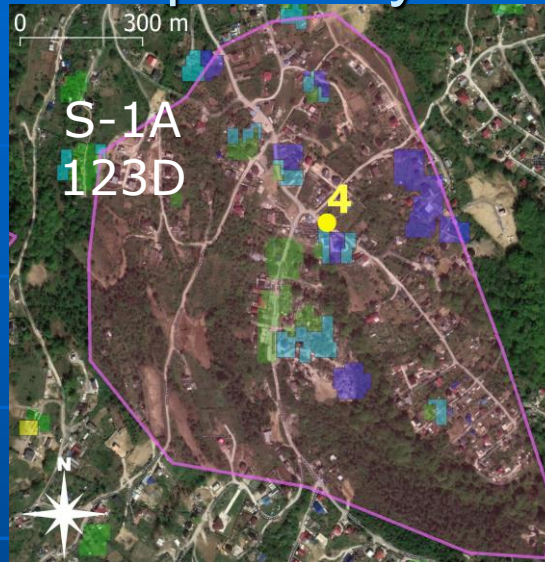
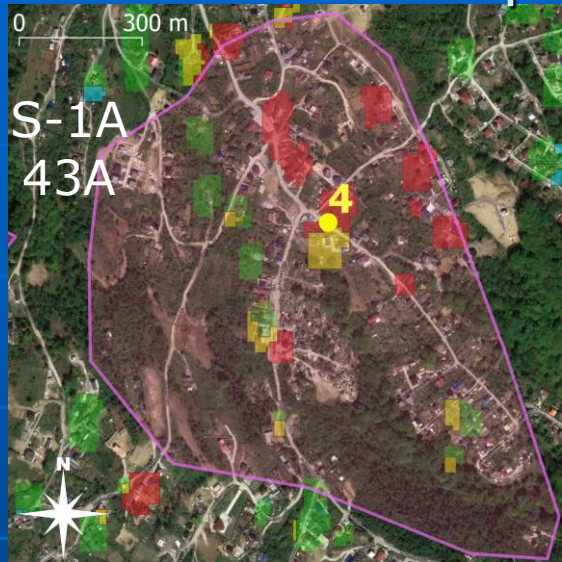


РСА является локатором бокового обзора. При съемке с разных орбит (под разными углами визирования) зоны наложения и тени на снимках не совпадают. Соответственно и на картах, построенных по данным с разных треков, области отсутствия и наличия информации о смещениях, часто не совпадают, особенно в условиях сложного рельефа.

**Vios** "+" к спутнику ; "-" от спутника



# Фрагменты карт Vlos оползневой участка с. Высокое по снимкам с разных орбит спутника S-1A (2018-2019)



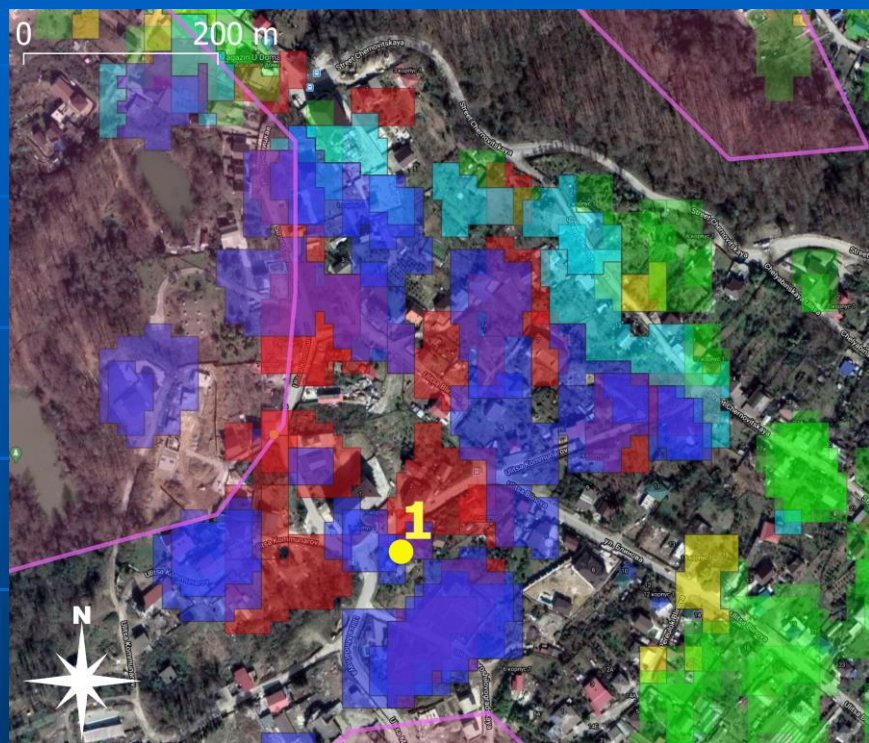
Этот оползневой участок находится в пределах области оползневых проявлений, зафиксированной по наземным данным (показана розовым) (Вожик, 2016).

Ориентация склонов, изрезанность рельефа (наряду с наличием растительности) позволяют получить здесь карты смещений лишь на отдельных участках, границы которых также не совпадают на картах с разных треков.

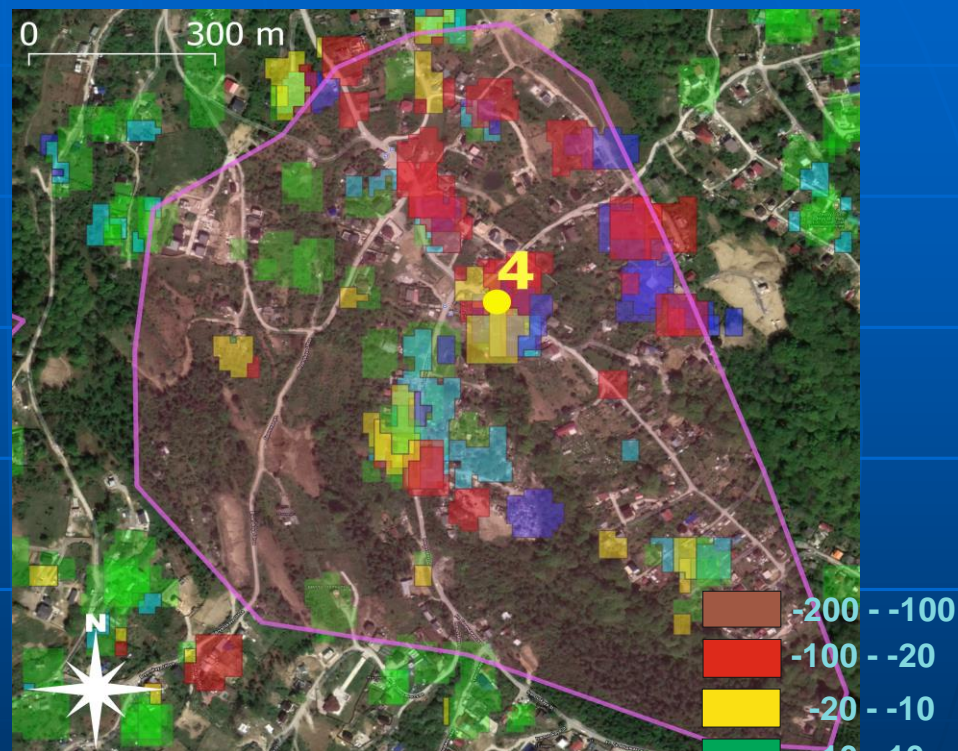


# Фрагменты результатов наложения карт Vlos оползневых участков, построенных по снимкам с четырех треков спутника S-1A (2018-2019) (слайды 6 и 7)

## N1 ул. Коммунаров



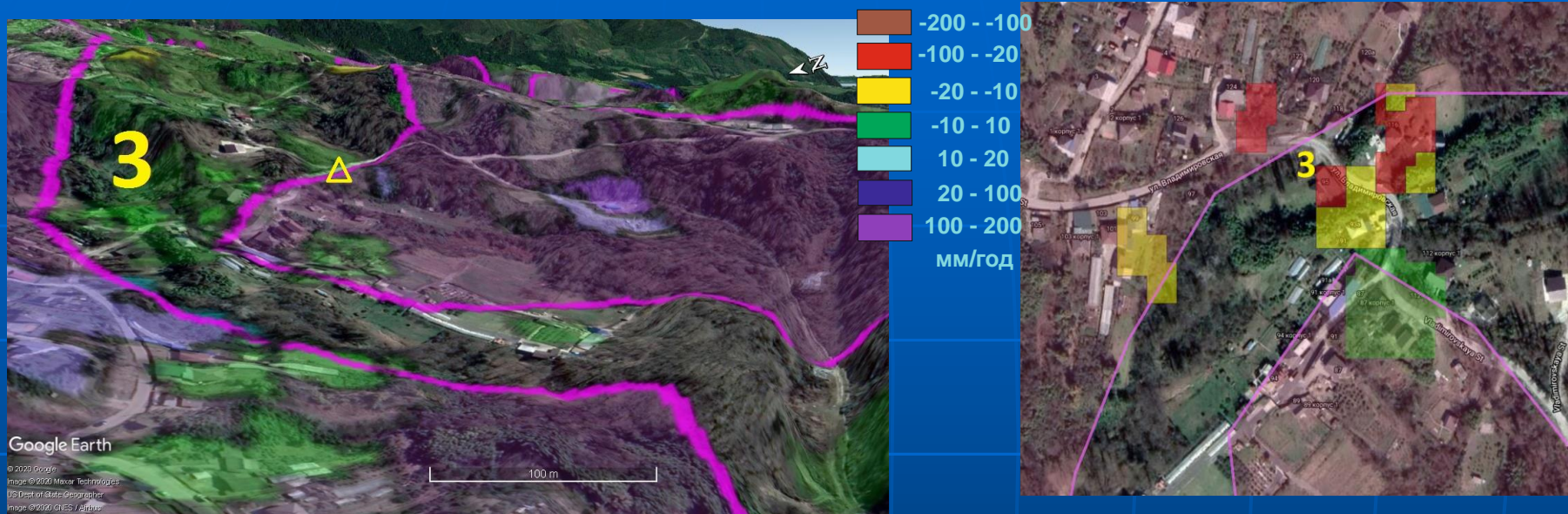
## N4 с. Высокое



Карты, полученные по данным о смещениях поверхности с нескольких треков, обладают более высокой информативностью. Площадь участков, по которым нет информации о смещениях существенно уменьшается по сравнению с картами, построенными по одному треку (см. слайды 6 и 7). **Vlos** "+" к спутнику ; "-" от спутника



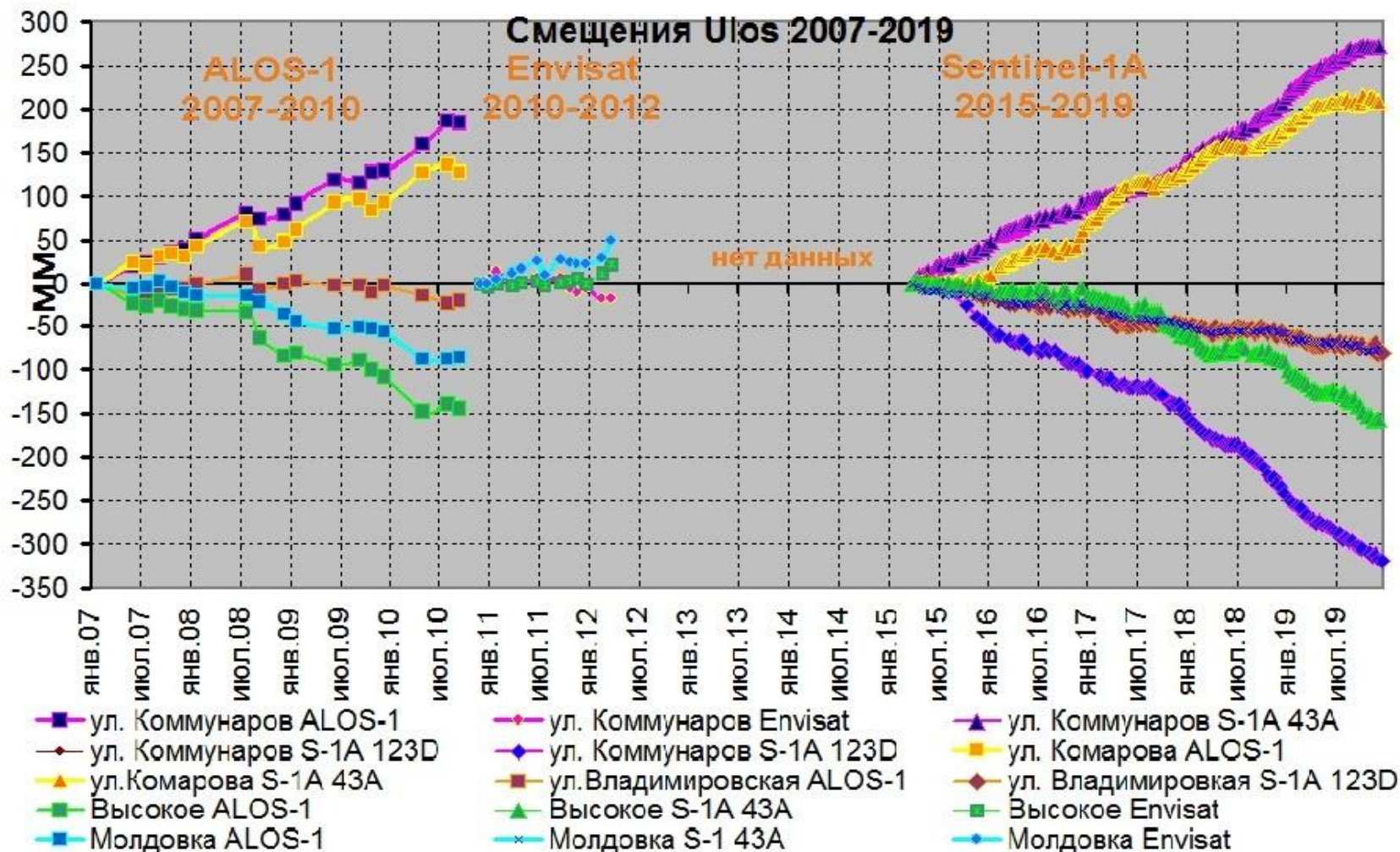
# Ул. Владимирская



По наземным данным этот участок находится между двумя обширными областями оползневых проявлений. На рис.С - фото, иллюстрирующее современную оползневую активность в непосредственной близости от исследуемого участка (в 100м – место съемки обозначено желтым треугольником). По снимкам со спутников ALOS и Envisat до 2012 года скорости смещений  $V_{los}$  здесь близки к нулю (Рис.А - зеленые области). С восходящих треков S-1A этот участок "не виден", а вот по данным с нисходящего трека 123D смещения на этом участке в период 2015-2019 достигают 130 мм, при средней скорости вниз по склону до 60 мм/год. Это говорит о том, что в настоящее время исследуемый участок также вовлечен в оползневой процесс.



# Временные серии смещений



Сравнить величины смещений, полученные по снимкам с разных спутников и на разных участках можно, если рассчитать смещения в предположении, что движения происходят вниз по склону.



## Значения смещений и скоростей вниз по склону в некоторых точках оползневых участков (1-5).

	ALOS-1 2007-2010		Envisat 2010-2012		S-1A 2015-2019		Usd 2007- 2019 мм
	Usd мм	Vsd мм/го д	Usd мм	Vsd мм/го д	Usd мм	Vsd мм/го д	
<b>ул.Коммунаров</b>	-540	-170	-	-	-800	-195	>1340 мм
<b>ул.Комарова</b>	-870	-195	*	*	-850	-200	>1720мм
<b>ул. Владимировская</b>	-354	-254	-	-	*	*	>354мм
<b>Высокое</b>	-722	-138	-90	-54	-680	-184	>1492 мм
<b>Молдовка</b>	*	*	-237	-158	-470	-120	>707мм

\* - экспозиция склона и уклон не позволяют для угла визирования с данного спутника корректно вычислить скорость вдоль склона;

- - информации о смещениях отсутствует

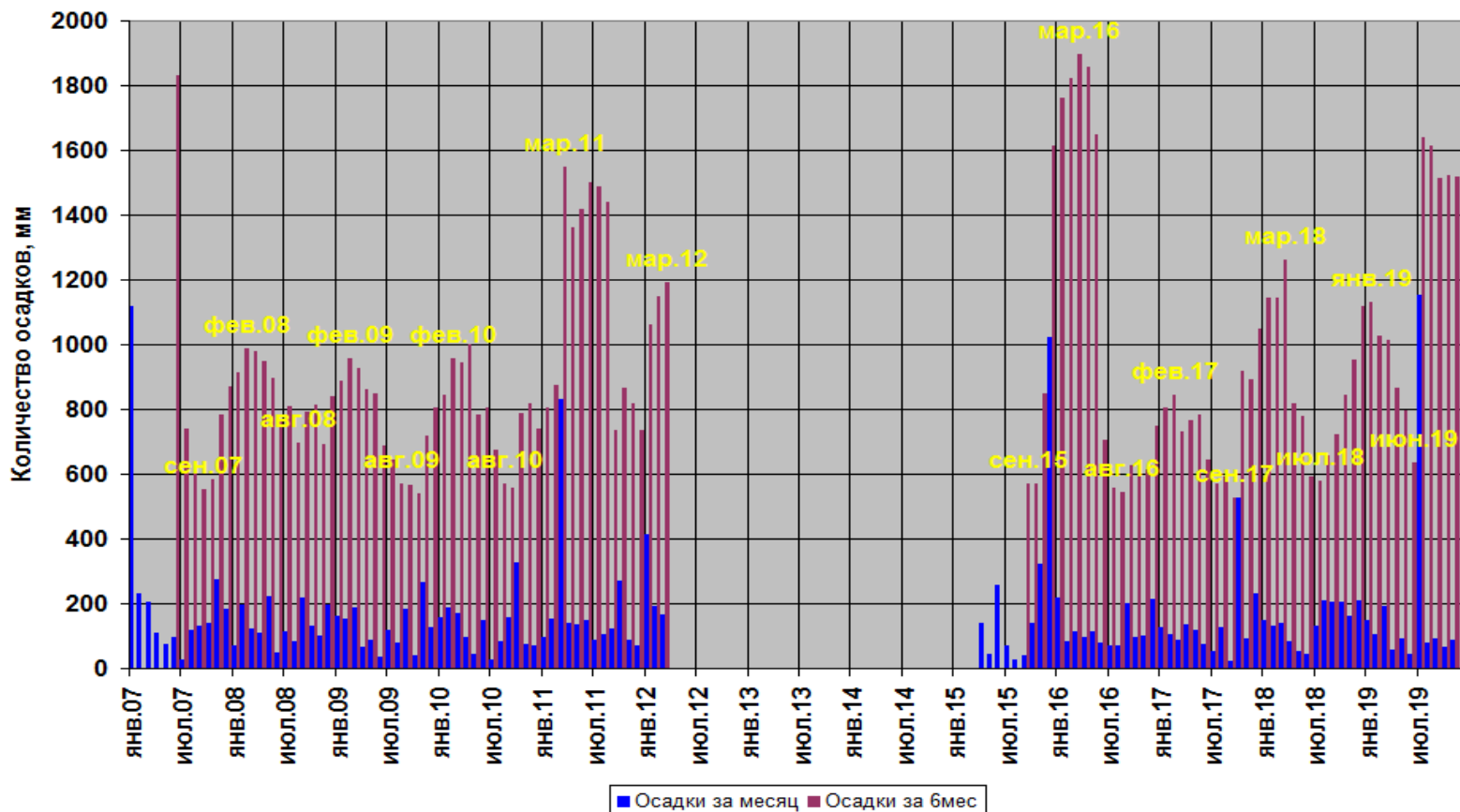
Из-за сильной изрезанности рельефа абсолютные значения смещений вниз по склону можно корректно вычислить не везде и не со всех орбит.



# Выпадение осадков (по архивным данным метеостанции Сочи (Адлер))

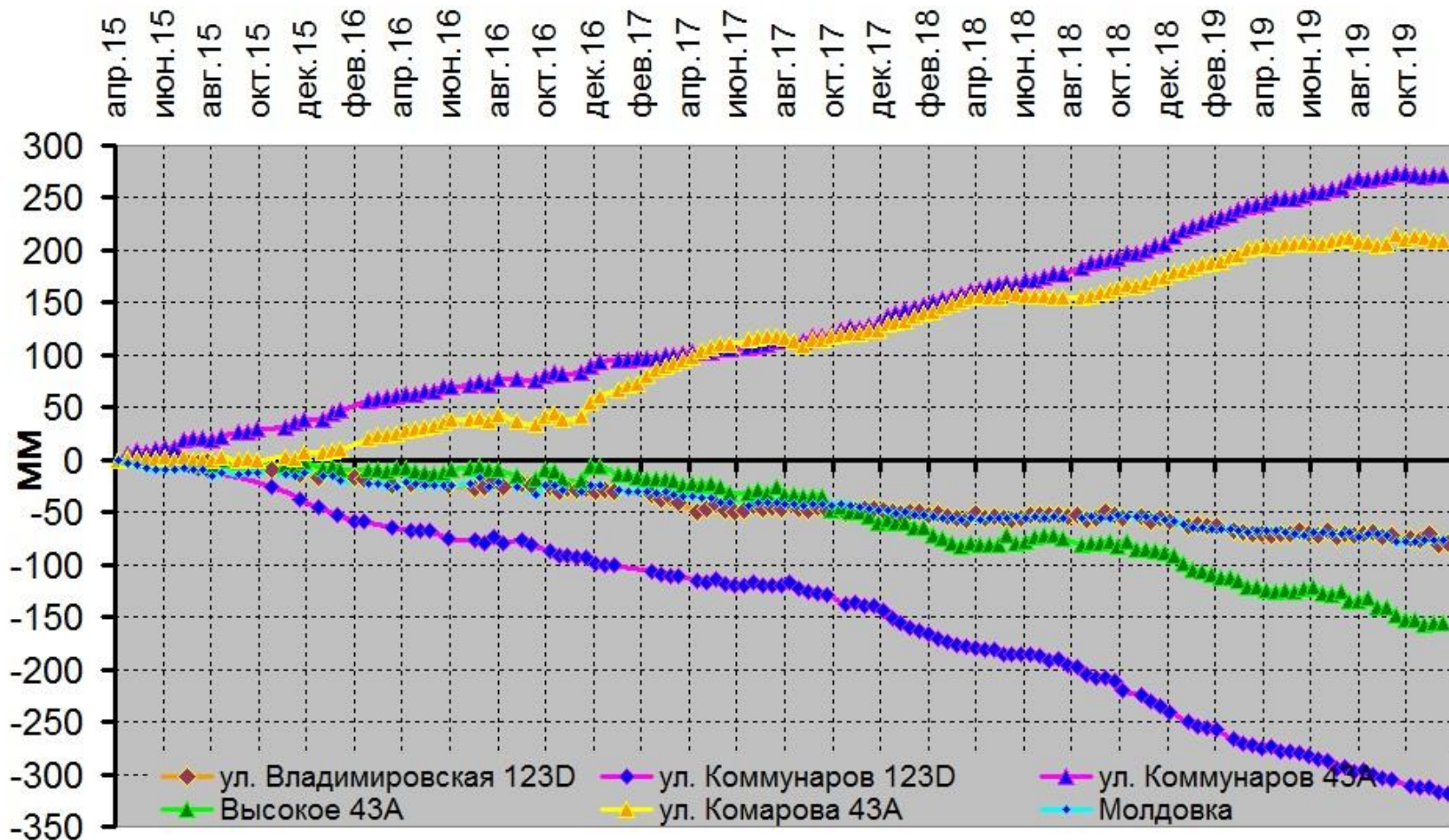
<http://meteocenter.net> 43.4°ш. 39.9°д. 13 м над ур. моря

Основным фактором, определяющим динамику движения оползней является обводненность грунтов, которая, в первую очередь, зависит от количества выпавших осадков. Приведенные гистограммы получены суммированием количества осадков за 1 и 6 месяцев.



Отмечается периодичность максимумов и минимумов суммарного количества осадков, выпадающих за полгода. Максимумы наблюдаются в феврале-марте, а минимумы в августе-сентябре.

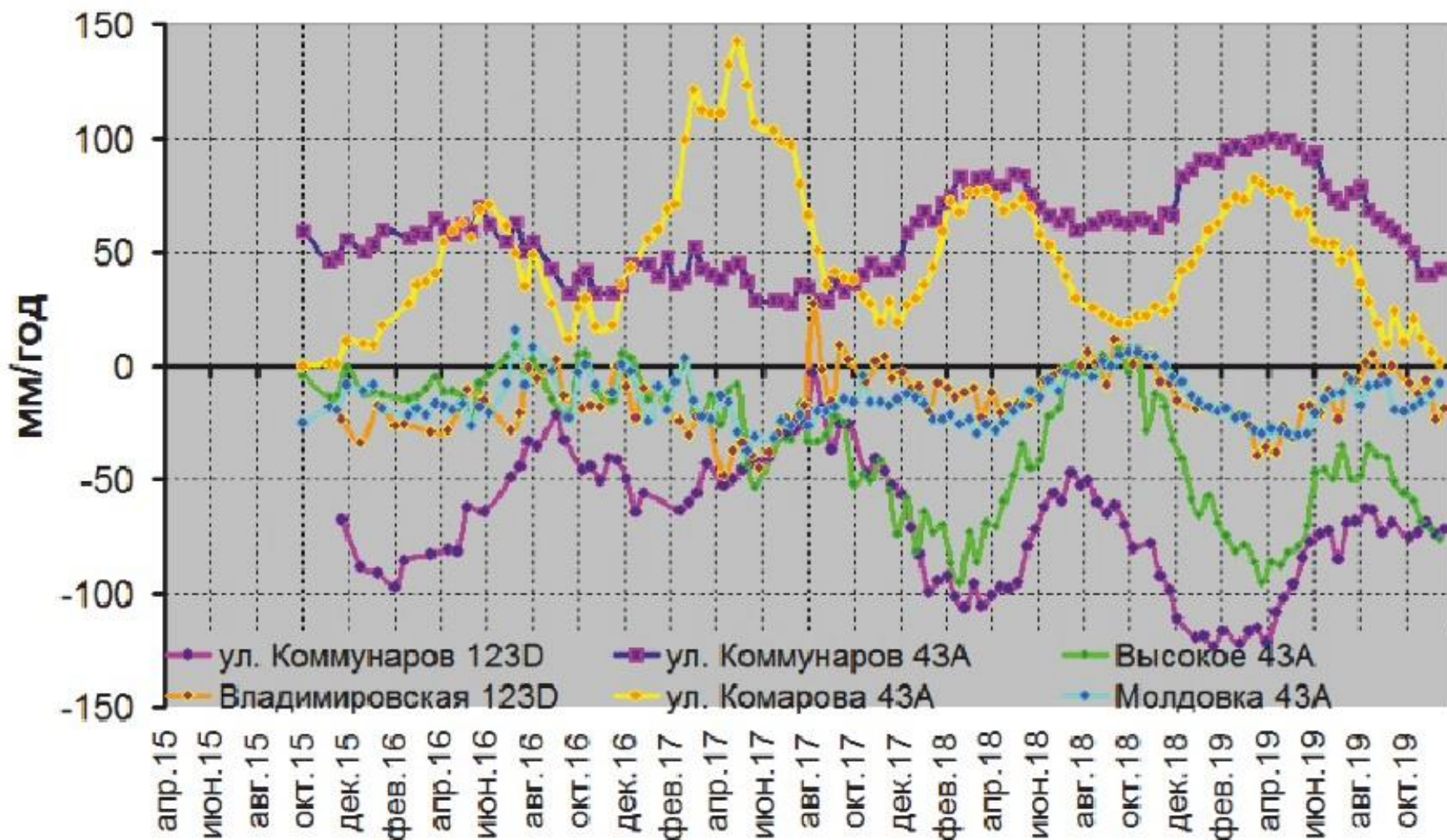
# Временные серии смещений S-1A 2015-2019



На всех оползневых участках отмечается неравномерность движений

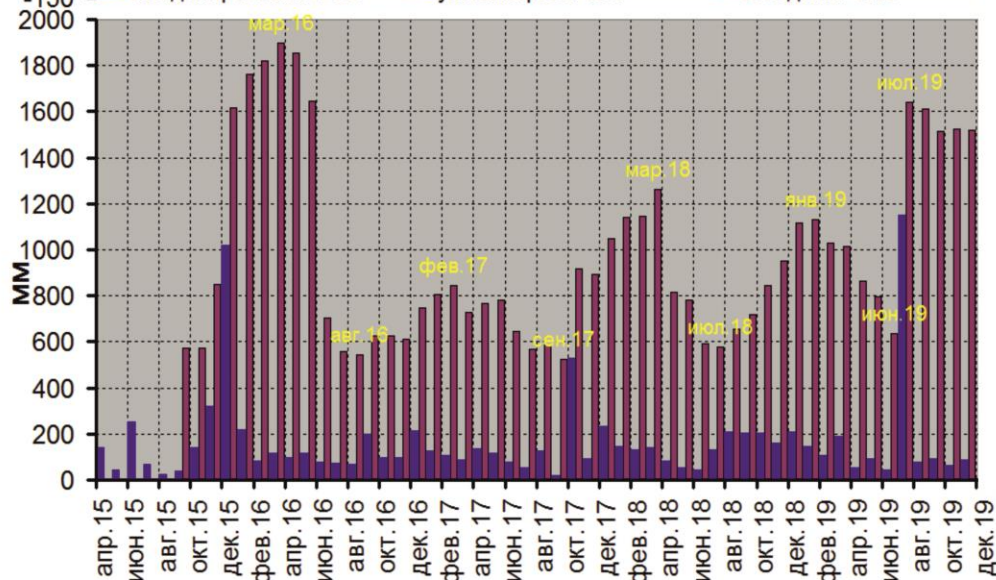
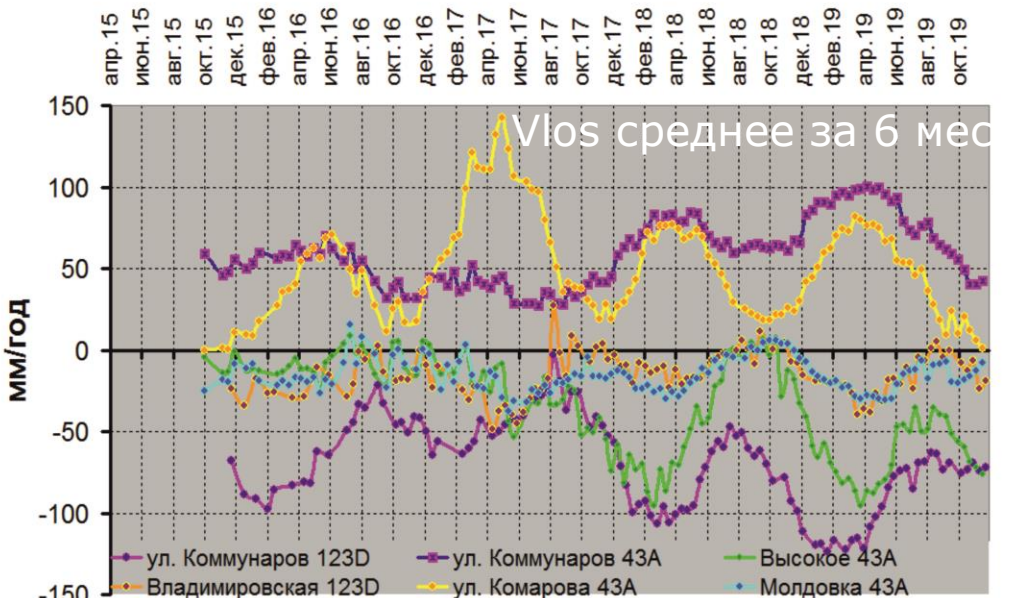


# Средние скорости смещений $V_{los}$ за 6-месячные интервалы



Для всех участков характерна периодичность максимумов и минимумов средних скоростей  $V_{los}$ . Времена пиковых значений скоростей смещений  $V_{los}$  на разных участках совпадают в пределах 1-2 месяцев

# Динамика движений оползневых участков 1-5 и выпадение осадков 2015-2019



■ Месячное количество осадков ■ Количество осадков за 6 мес.

- экстремумы кривых средних значений  $V_{los}$  за шестимесячные интервалы коррелируют с экстремумами гистограммы количества осадков за шестимесячные интервалы.
- Максимумы скоростей смещений приходятся на февраль-апрель, а минимумы на август-октябрь.



# ВЫВОДЫ

- На преобладающих в районах Большого Сочи территориях с плотной индивидуальной застройкой, где медленные смещения с трудом фиксируются наземными методами, InSAR при небольших затратах позволяет выделять множество новых зон активных оползневых деформаций, а также определять степень активности в период съемки ранее закартированных наземными методами оползневых структур.
- Привлечение архивных снимков и метеоданных позволяет успешно изучать динамику оползневых склонов в этом районе и прогнозировать области активизации смещений.
- Работа выполнена в рамках Госзадания ИФЗ РАН