

**Двадцать третья международная конференция  
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА**

**Многовременный анализ данных TerraSAR-X/PAZ и численное  
моделирование в изучении ледников, оползней и снежных лавин  
в отдельных горных районах Узбекистана**

**Семакова Э., Floricioiu D., Bühler Y., Сафонов В.**

**UBAI, IMF DLR, WSL SLF, Uzhydromet**

**11 ноября, 2025**

# Районы исследования



Бассейн реки Пскем,  
Западный Тянь-Шань

Лавиноопасные и  
оползневые участки

mc Ойгаинг, 2100 м

# Актуальность исследований

Глобальное потепление вызывает отступление ледников по всему миру, что оказывает значительное влияние на водные ресурсы и устойчивость горных экосистем.

В ряде горных регионов, происходит изменение площади, толщины и скорости течения льда, что влияет на их устойчивость и реакцию на потепление.

Потеря массы льда без соответствующего питания в верхней части ледника может способствовать более быстрому их отступлению и истончению.

Кроме того, возможна активизация опасных горных явлений (прорыв ледниковых озер, сели, снежные лавины, оползни). Для оценки воздействия всех этих процессов на окружающую среду необходимы современные технологии их мониторинга.

**Методы РЛС** позволяют изучать природные объекты независимо от освещённости и погодных условий. Полевые методы исследований ограничены пространственным охватом и длительностью измерений, что делает дистанционное зондирование незаменимым для комплексного анализа.

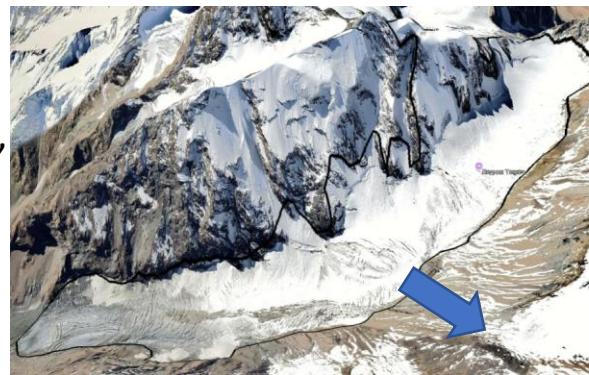
**Объекты исследования:** тестовые ледники (гляц.наблюдения), снежные лавины района перевала Камчик (СЛС Камчик), оползни (Ангренское вдхр., ГСС-наблюдения)



Ледник Баркрак Средний, с 2016г



Ледник Пахтакор, с 2023г.

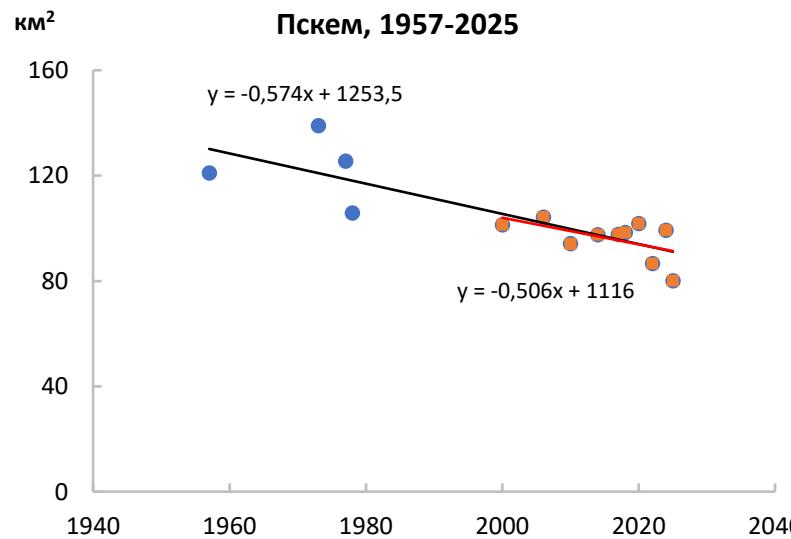


Ледник Текеш,  
эпизодично

# Изучение ледников в бассейне реки Пскем

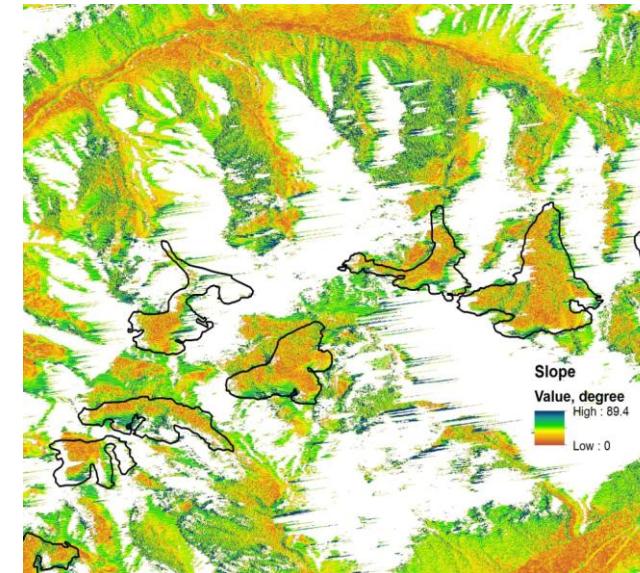
## Уточнение тенденции сокращения площади всех ледников в бассейне к 2025 г.:

Каталоги ледников СССР: 1957 (I) и 1978 (II);  
KH-9 (1973), ALOS / AVNIR-2 (2007-2010)  
Landsat (1977-2025 гг.),  
а также часть бассейна: аэрофотоснимки 1942 г.,  
фото с МКС (2015).



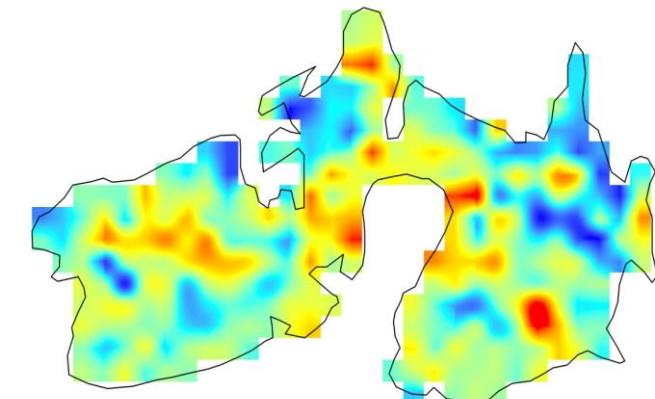
## Изменение высоты поверхности 10 ледников (2012-2014).

Разность двух ЦМР по данным TerraSAR-X / TanDEM-X; InSAR:  
Средняя скорость понижения -0.68 м/год  
Годовой баланс массы = -1.08 м в.э.  
Потеря массы ледников = 932.7 кт.



## Кумулятивная деформация поверхности тестовых ледников (2017-2024).

Sentinel-1; ASF DAAC HyP3 2024;  
Интервал съемки: 1 год, SBAS.  
Понижение ледника Баркрак Средний до -100 см, повышение до +98 см, в среднем -11 см.



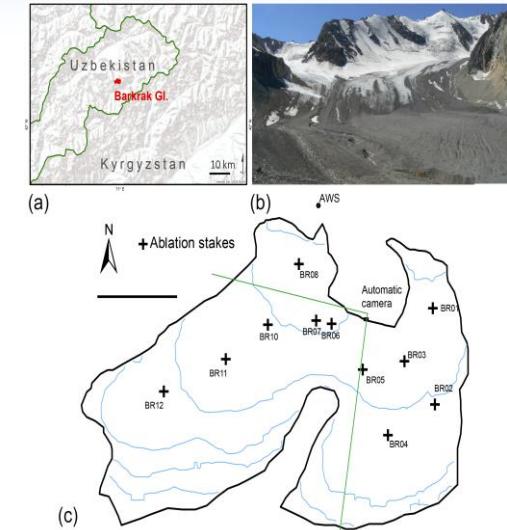
# Исходные данные и Методы

## План съемки:

**Ледники:** август – октябрь: 2022, 2023 гг., режим съемки SM

**Лавины:** январь – март (апрель): 2022, 2023 гг., SM, SL

**Оползни:** март – май (июнь): 2022, 2023 гг., SM, SL



## 1. TerraSAR-X / PAZ SLC:

- Ледники – 13 пар “D” и 13 пар “A” орбита, DInSAR
- Лавины – 4 пары SM, 13 пар SL, изменение когерентности
- Оползни – 9 пар SM, 6 пар SL, DInSAR

Интервал между съемками – 4 дня

Программное обеспечение: ENVI+IDL / SARscape 5.7;

Программа моделирования движения лавинных потоков RAMMS

М. Петров, Т. Сакс, Ф. Акбаров, Х. Мамиров, С. Суванкулов. Наблюдения баланса массы ледника Баркрак Средний (Западный Тянь-Шань), как часть глобального мониторинга криосферы, проводимого WGMS (Всемирная служба мониторинга ледников). Криосфера. «Центр изучения ледников Национальной Академии наук Таджикистана», № 1-2 (1), 2021, С.45-52.

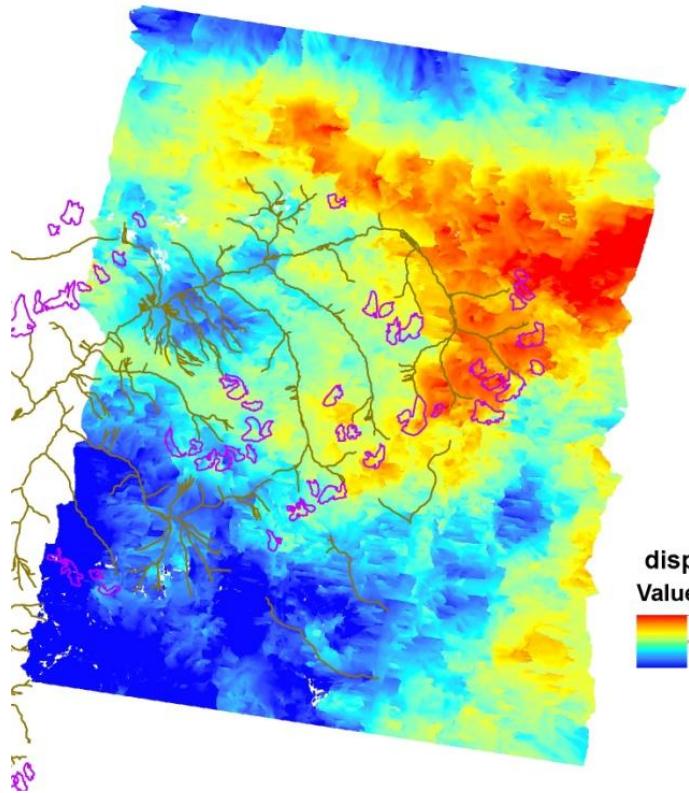
## 2. Данные наземной съемки:

- GPS-измерения по аблационным рейкам, баланс массы ледника Баркрак (WGMS);
- Даты схода лавин, номер лавиносбора, размер и тип лавины;
- Смещения оползней

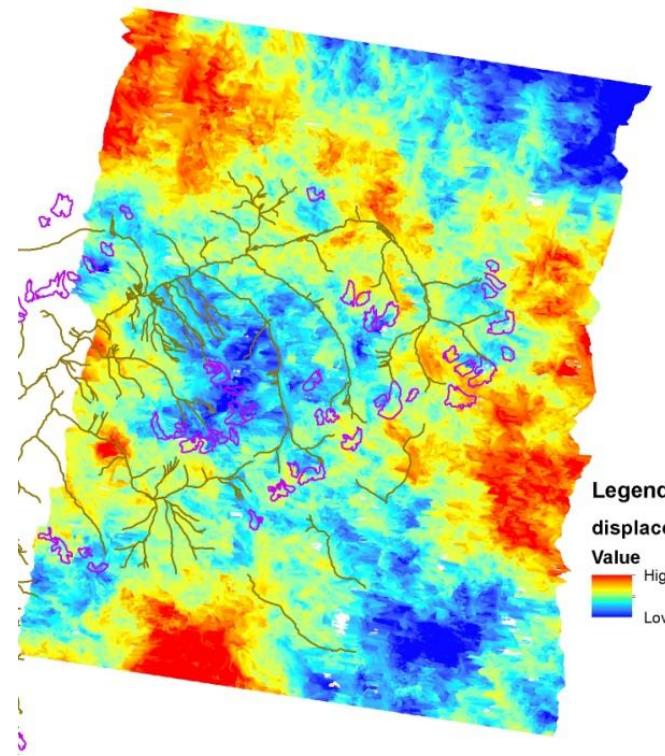
CATCOS / CICADA (с 2016г.):

**Ледник Баркрак Средний:  
Баланс массы (2017-2025)**

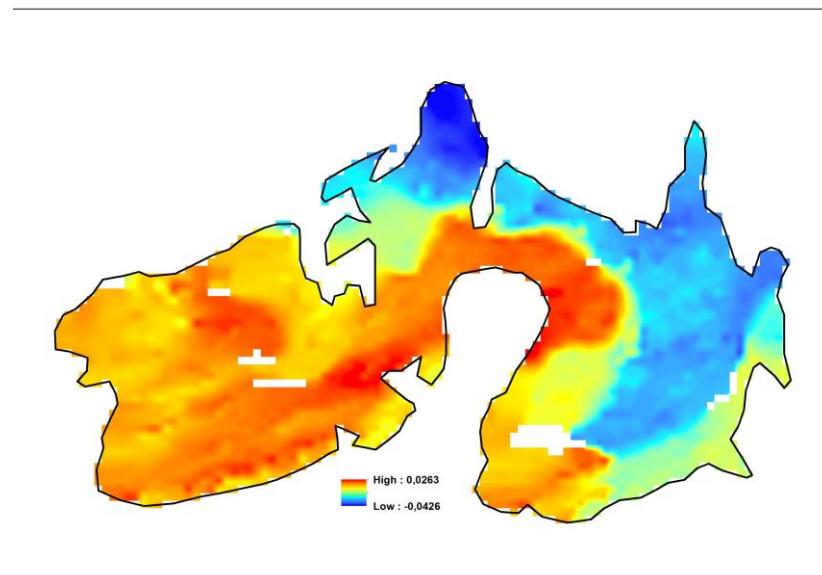
# Вертикальные смещения земной поверхности в бассейне р. Пскем по данным TerraSAR-X/PАЗ



Октябрь 2023 г.



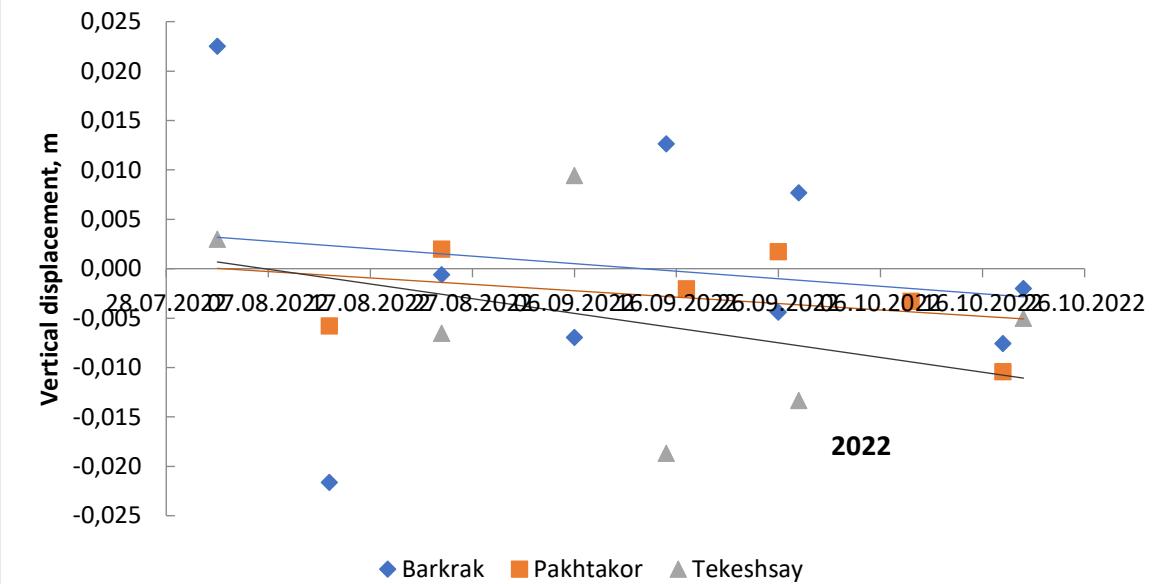
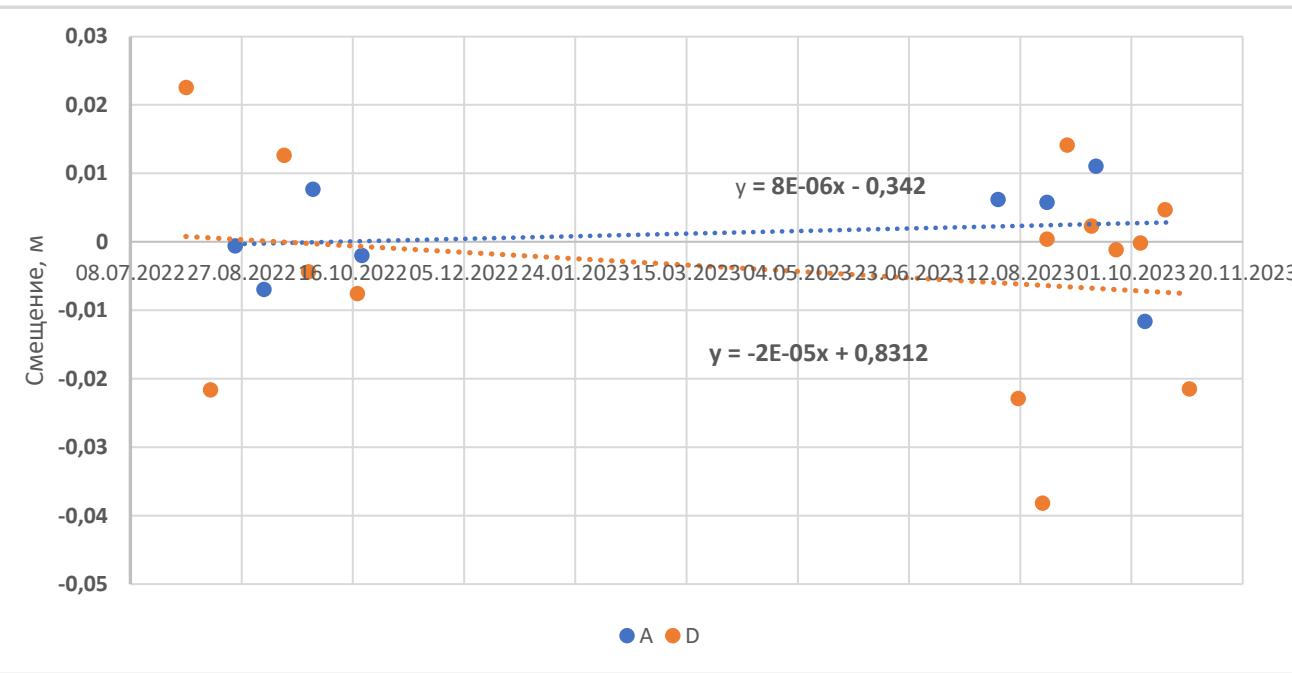
Август 2023 г.



Вертикальное смещение ледника Баркрак  
(2023.08.20 – 2023.08.24)

Положительные значения соответствуют подъёму поверхности (например, накопление снега или сезонные деформации),  
отрицательные — понижению вследствие аблации или таяния

Суточные вертикальные смещения ледника Баркрак (TSX/PAZ, 2022–2023)  
(A — восходящая орбита, D — нисходящая)

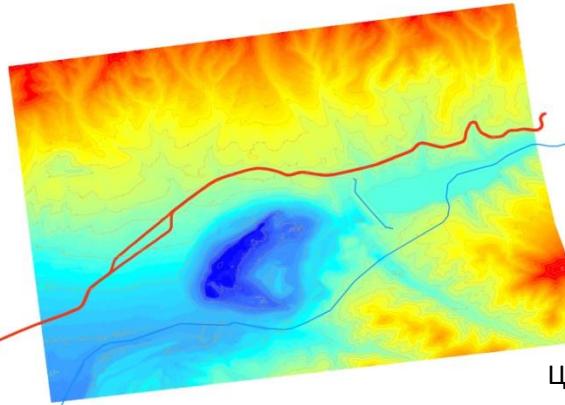
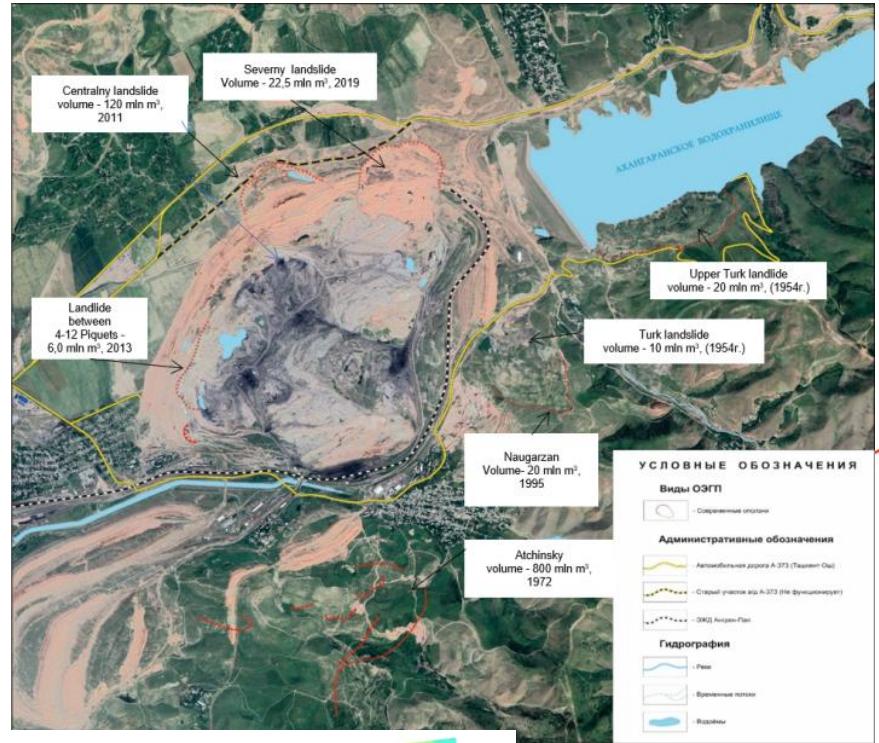


Ледник Баркрак Средний  
A/D — тренд  $\approx$  0 мм/сут;

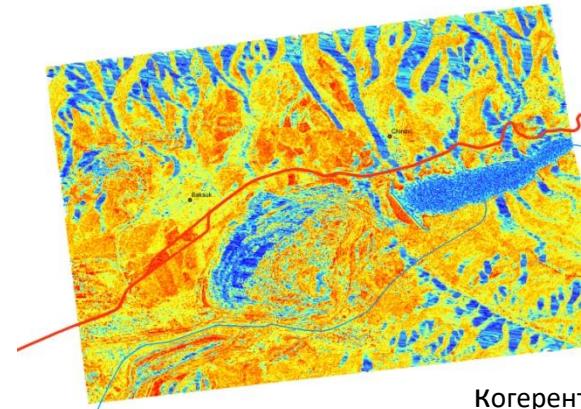
по отдельным парам — до 2 мм/сут ( $\gamma \geq 0.3$ ).

Год	Пара снимков	Даты съёмки	$\Delta h$ (м)	Дней	Сред. суточная скорость (мм/сут)
2023	PAZ–PAZ	13 авг – 4 сен	$-0.050 \pm 0.005$	22	-2.27
2023	TSX–PAZ	9–13 авг	-0.011	4	-2.75
2023	TSX–PAZ	25–29 окт	-0.0099	4	-2.48
2022	TSX–PAZ	авг–окт 2022 (сумм.)	$\approx 0$	-	$\approx 0$

# Оползни и техногенные деформации

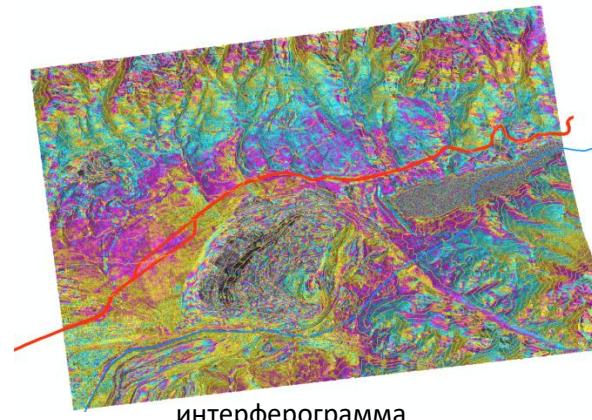


ЦМР

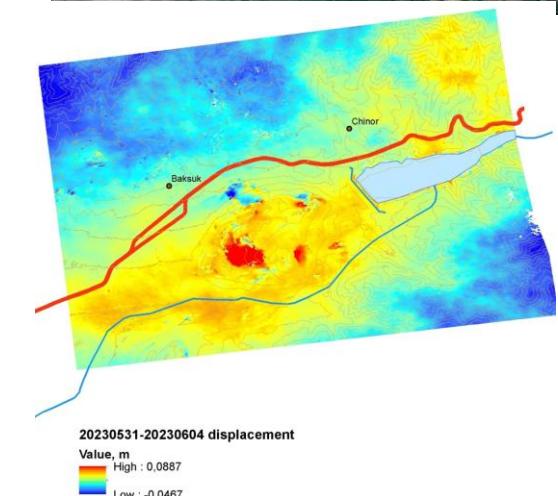
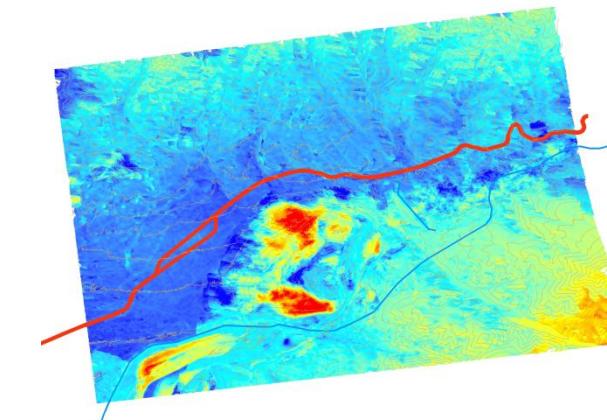


Когерентность

2022-04-06 - 2022-04-10



интерферограмма

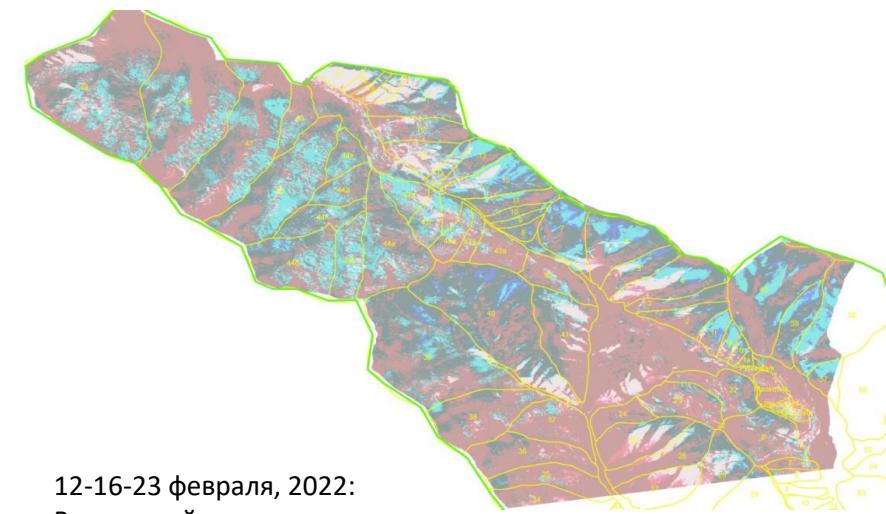


Семакова Э.Р., Нурутаев Б.С., Бимурзаев Г.А. О возможности изучения состояния оползневой активности методами радиолокационной интерферометрии, на примере оползней Ахангаранского водохранилища, Западный Тянь-Шань / Труды респ. науч.-практ. конф. «Фундаментальные, практические и инновационные решения геологических проблем устойчивого развития Республики Узбекистан», Ташкент, Университет геологических наук, 7-8 ноября 2024 г., с. 544-549.

# ВЫЯВЛЕНИЕ СЛЕДОВ ЛАВИН, TSX-PAZ-TSX

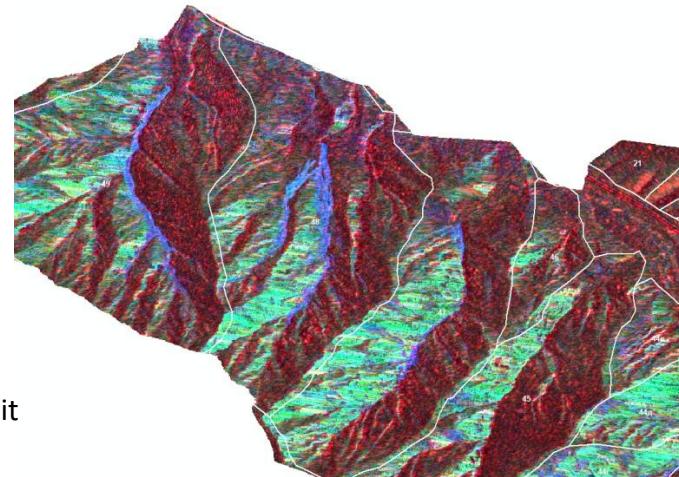
## Методы:

Изменение когерентности и  
интенсивности сигнала

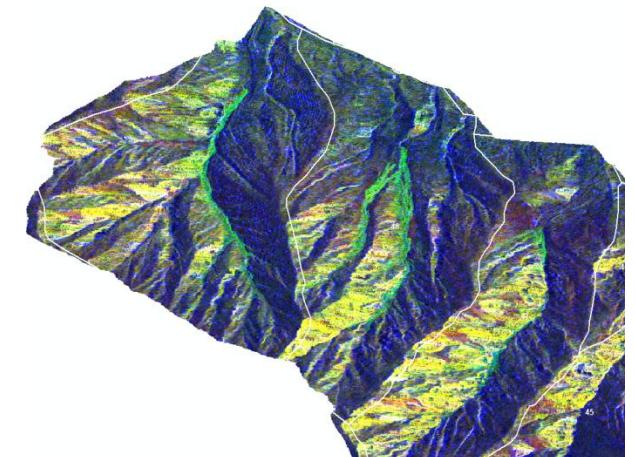


Интервал съемки: 4 и 7 дней

ЦМР: Global AW3D DEM



Многовременная когерентность  
2023-02-03 - 2023-02-07, SL, "D" orbit



# СЛЕДЫ СОШЕДШИХ ЛАВИН НА СНИМКАХ SENTINEL-1

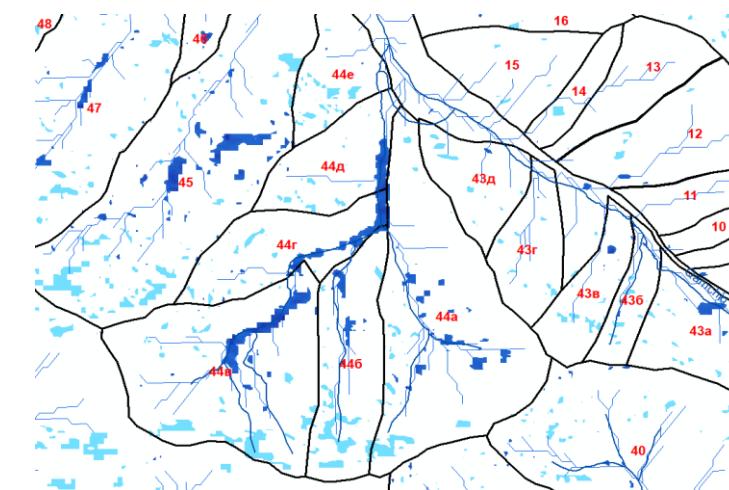
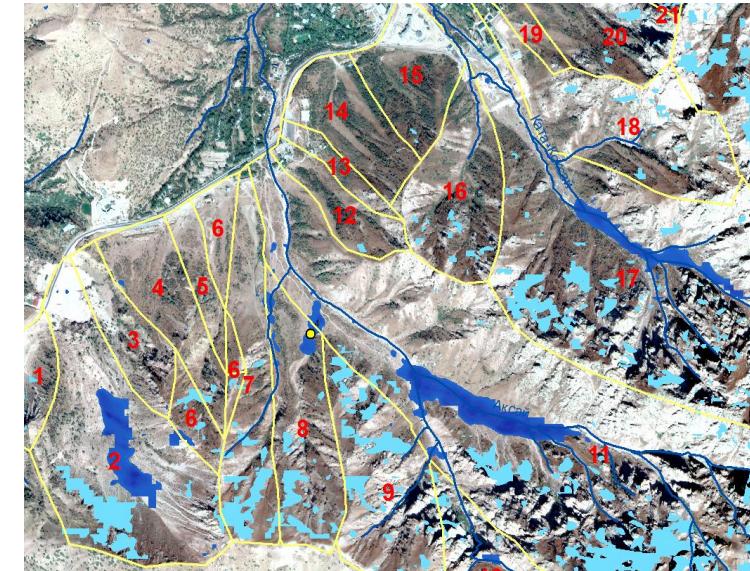
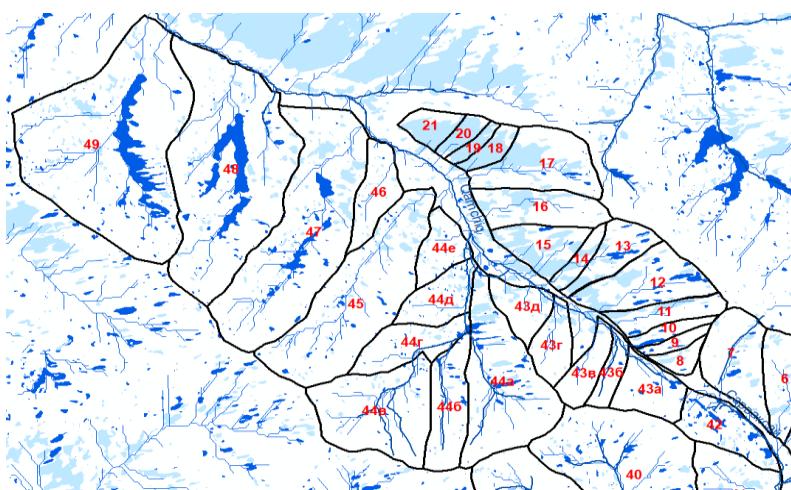
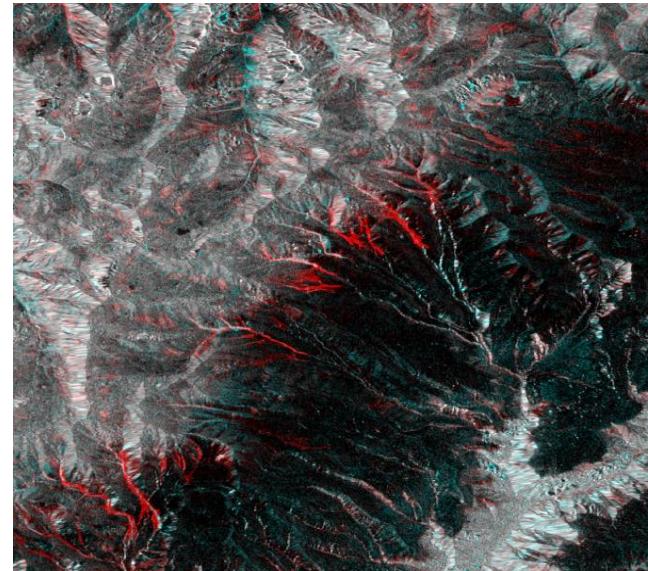
Семакова Э.Р., Поторгинский М.Г. Предварительные результаты к созданию методических рекомендаций по мониторингу снежных лавин в отрогах Западного Тянь-Шаня на основе использования снимков Sentinel-1 / Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21. № 1. С. 343-347, DOI: [10.21046/2070-7401-2024-21-1-343-347](https://doi.org/10.21046/2070-7401-2024-21-1-343-347)

Исходные данные:  
Sentinel-1A SLC и GRD

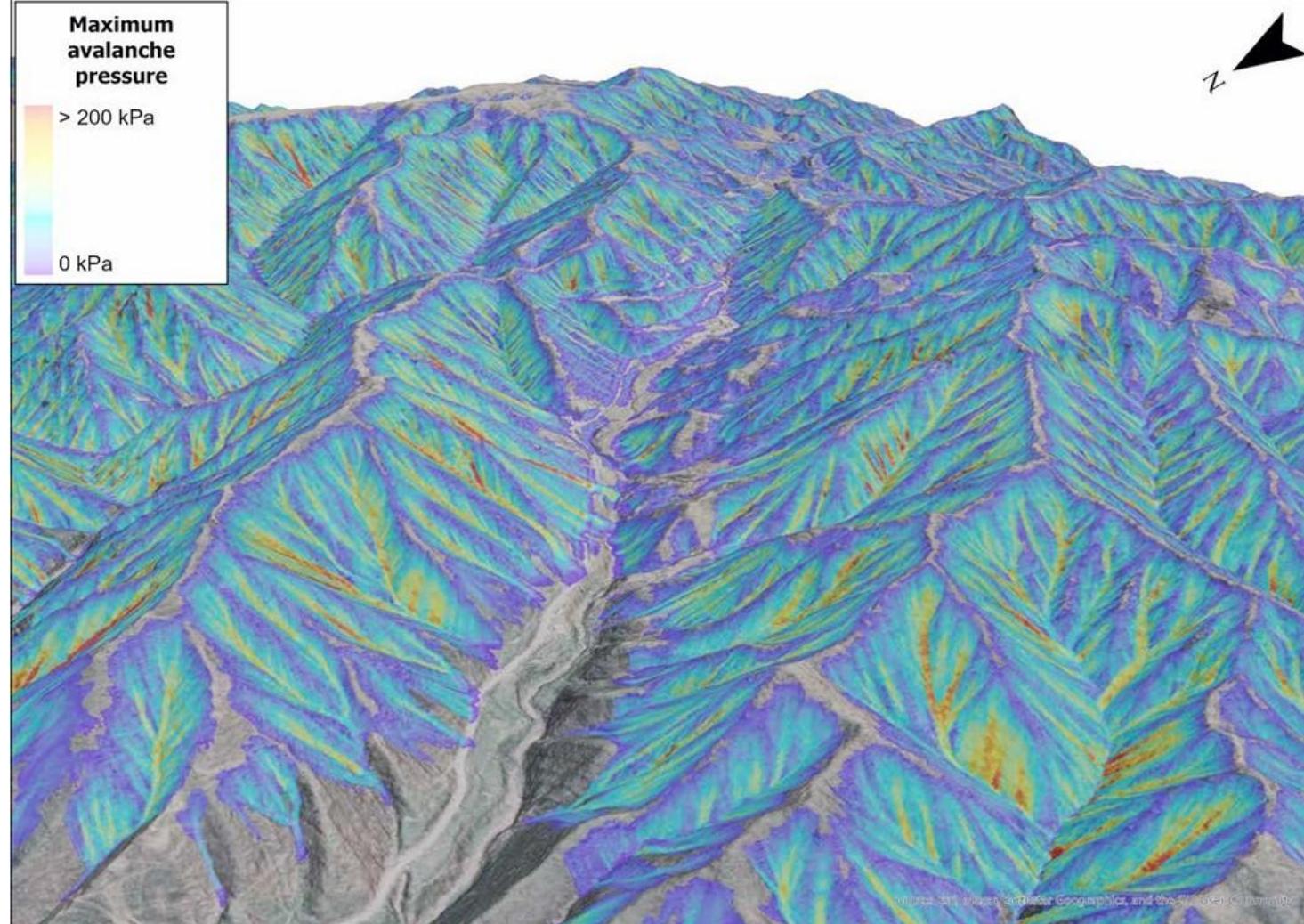
Методы:  
Изменение интенсивности,  
анализ  $\sigma^0$  в различных  
поляризациях сигнала и  
 крутизны склонов

Интервал между съемками:  
12 дней

■ 8,44 - 11	■ -32,6 - -27,8
■ 11,1 - 13,7	■ -27,7 - -25
■ 13,8 - 16	■ -24,9 - -22,7
■ 16,1 - 17,9	■ -22,6 - -20,8
■ 18 - 19,9	■ -20,7 - -18,8
■ 20 - 21,9	■ -18,7 - -16,6
■ 22 - 23,8	■ -16,5 - -14,6
■ 23,9 - 26,1	■ -14,5 - -12,6
■ 26,2 - 28,7	■ -12,5 - -10,6
■ 28,8 - 31,3	■ -10,5 - -8,67
■ 31,4 - 34,3	■ -8,66 - -6,7
■ 34,4 - 37,9	■ -6,69 - -5,02
■ 38 - 47,4	■ -5,01 - -3,33



# Максимальные значения ударного давления потенциально возможных лавинных потоков с периодом повторяемости один раз в 30 лет, RAMMS::LSHIM (Large-Scale Hazard Indication Modelling)



Автоматическое выделение зон зарождения, обоснование толщины ступени отрыва, выбор коэффициентов трения.

- ЦМР: AW3D Global DEM;
- Угол наклона поверхности от  $30^\circ$  до  $45^\circ$ ;
- плановая кривизна (вогнутая), способствующая аккумуляции снега;
- низкие значения параметра шероховатости;
- минимальная площадь отдельного очага,
- высотные пределы,
- прирост высоты снежного покрова за трёхдневные снегопады на уровне линий отрыва с учетом крутизны склона;
- параметры трения с учётом объёма и морфологии потока

## **Выводы:**

- Данные TerraSAR-X и PAZ позволяют проводить мониторинг динамичных природных и техногенных процессов с интервалом съёмки до четырёх дней, что особенно важно для изучения горных районов.
- При низких значениях когерентности сохраняется информативность сигнала для оценки тенденций смещения на поверхности ледников.
- Средние вертикальные смещения для ледника Баркрак Средний, бассейн реки Пскем, составляют примерно два миллиметра в сутки;
- Различие трендов между орбитами А и D связано с геометрией визирования.
- В районах угольных карьеров по данным DInSAR фиксируются зоны просадок и оползневых деформаций, сопоставимые с наземными наблюдениями.
- Анализ изменения когерентности позволил обнаружить следы сошедших лавин, а моделирование в RAMMS — оценить их параметры воздействия.
- Используемые данные TerraSAR-X / PAZ и средства численного моделирования показали свою эффективность в изучении динамики объектов исследования.

# **Благодарим за внимание**

Работа выполнена в рамках проекта IL-5221091352, финансируемого Агентством инновационного развития Республики Узбекистан

Источники данных: DLR/INTA, UNIGE, ESA Copernicus, ASF DAAC НуРЗ, WGMS, Узгидромет, Институт геологии и геофизики, Государственная служба РУз по слежению за опасными геологическими процессами