

**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., Сафронов В.

UBAI, IMF DLR, WSL SLF, Uzhydromet

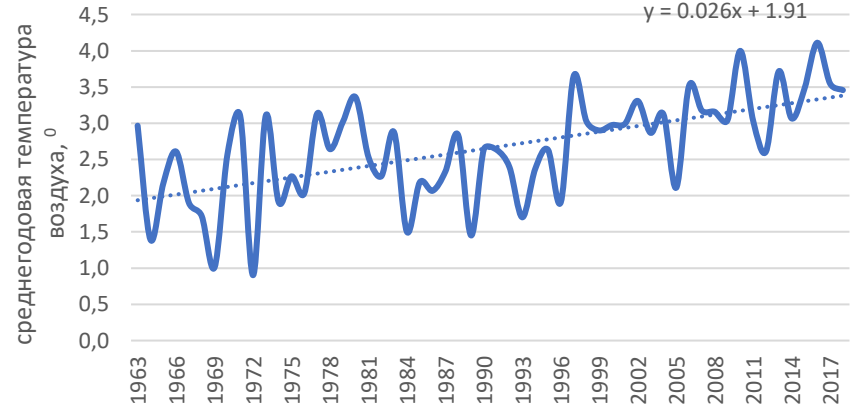
11 ноября, 2025

Районы исследования

Бассейн реки Пскем,
Западный Тянь-Шань

Лавиноопасные и
оползневые участки

мс 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.

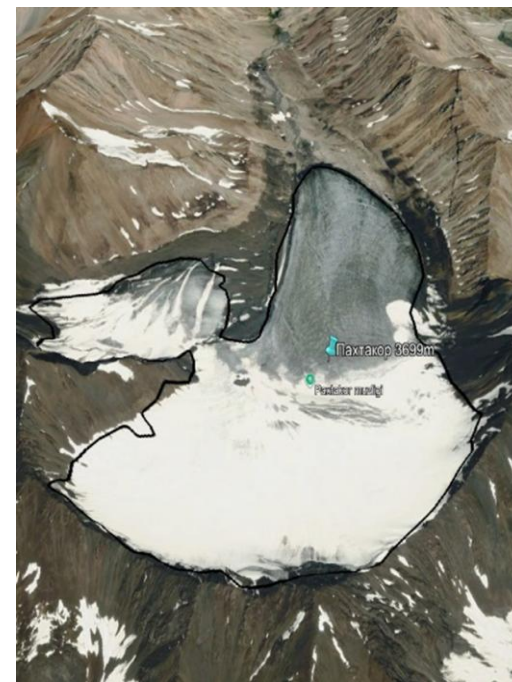
Методы РЛС позволяют изучать природные объекты независимо от освещённости и погодных условий. Полевые методы исследований ограничены пространственным охватом и длительностью измерений, что делает дистанционное зондирование незаменимым для комплексного анализа.

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

Ледник Текеш,
эпизодично



Ледник Баркрэк Средний, с 2016г

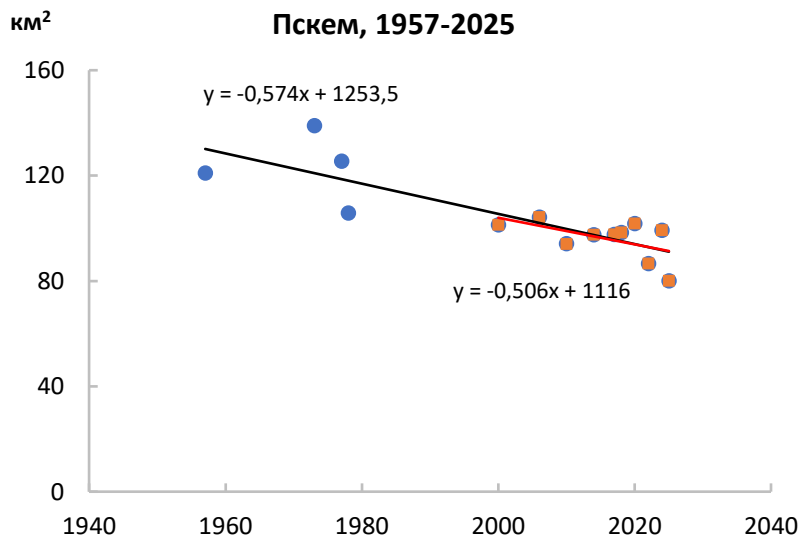


Ледник Пахтакор, с 2023г.

Изучение ледников в бассейне реки Пскем

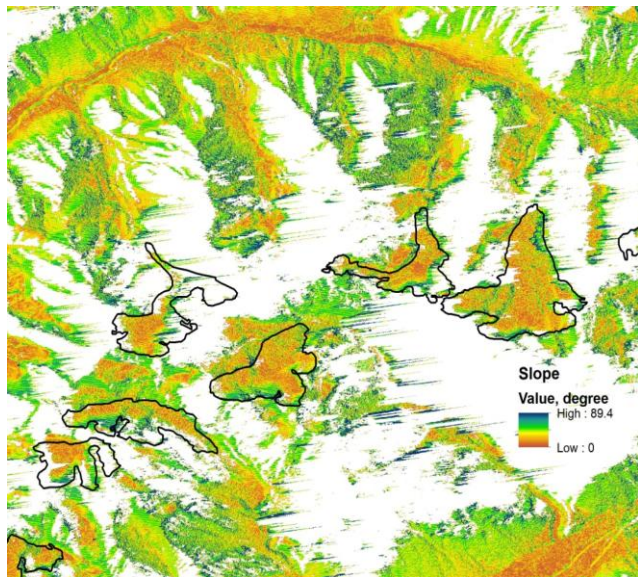
Уточнение тенденции сокращения площади всех ледников в бассейне к 2025 г.:

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).



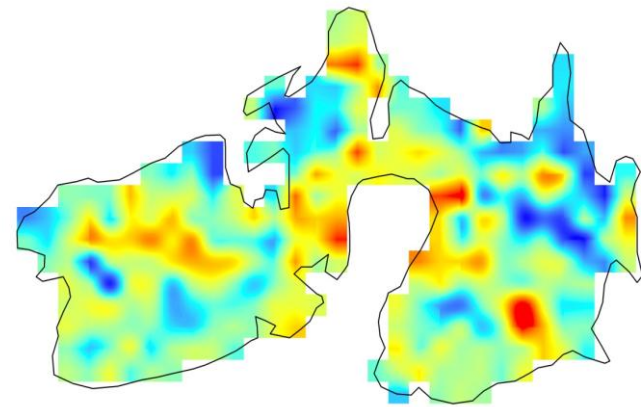
Изменение высоты поверхности 10 ледников (2012-2014).

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

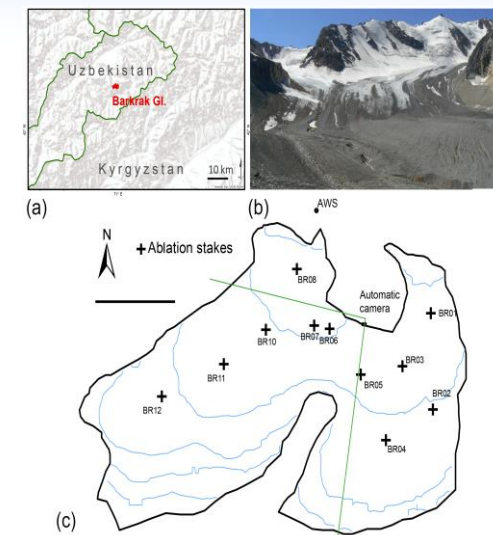
1. TerraSAR-X / PAZ SLC:

- 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



CATCOS / CICADA (с 2016г.):

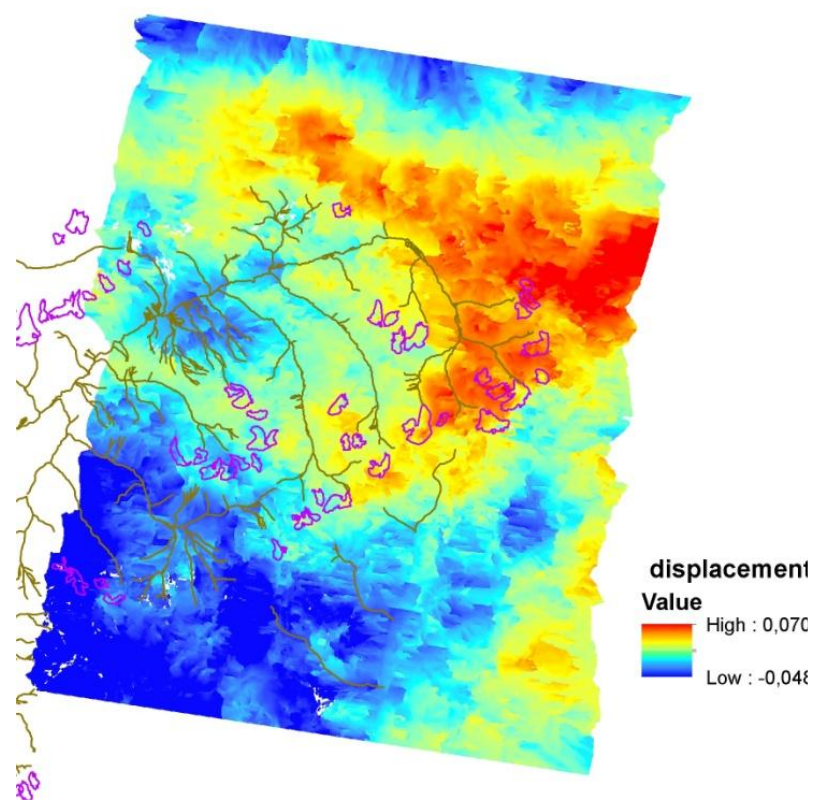
**Ледник Баркрак Средний:
Баланс массы (2017-2025)**

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.

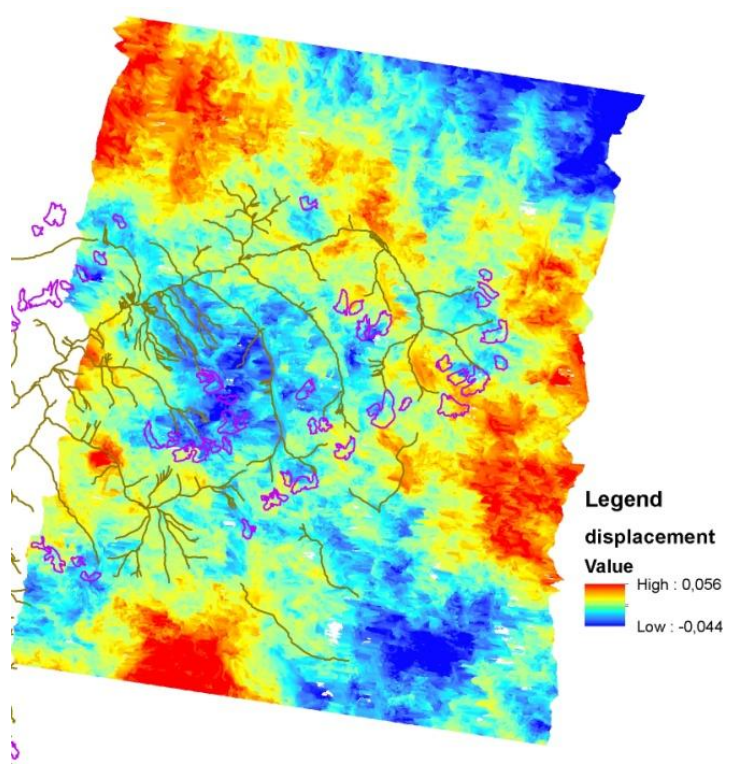
2. Данные наземной съемки:

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

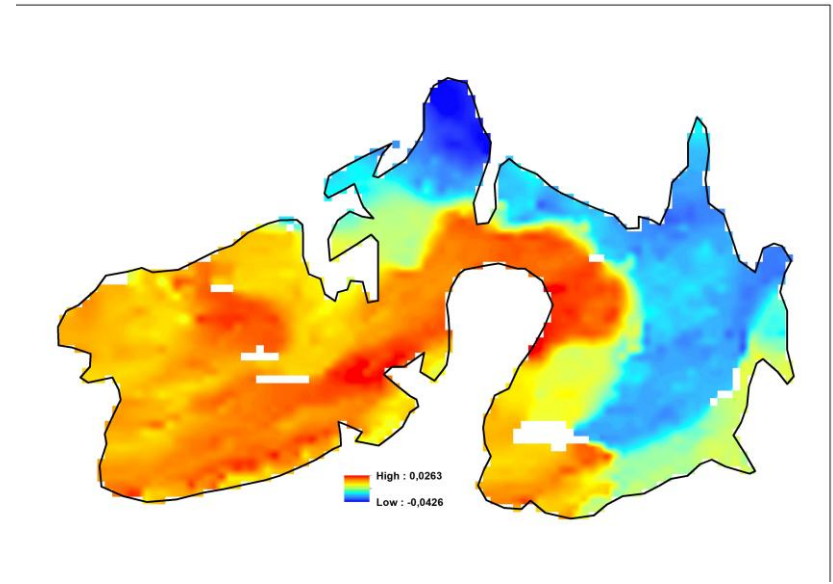
Вертикальные смещения земной поверхности в бассейне р. Пскем по данным TerraSAR-X/PAZ



Октябрь 2023 г.



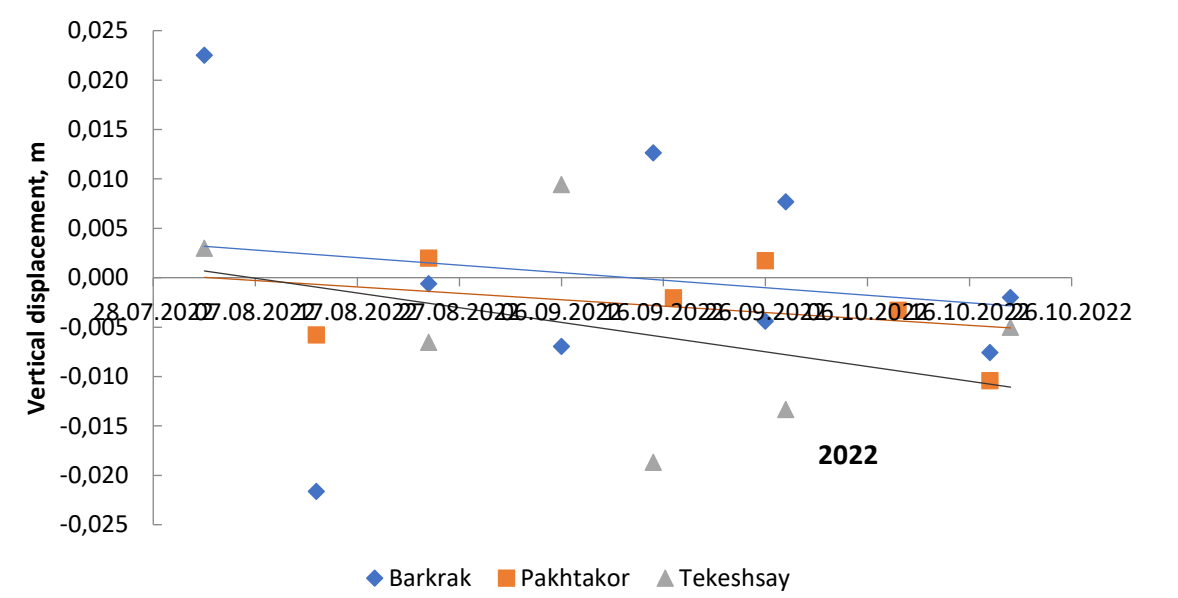
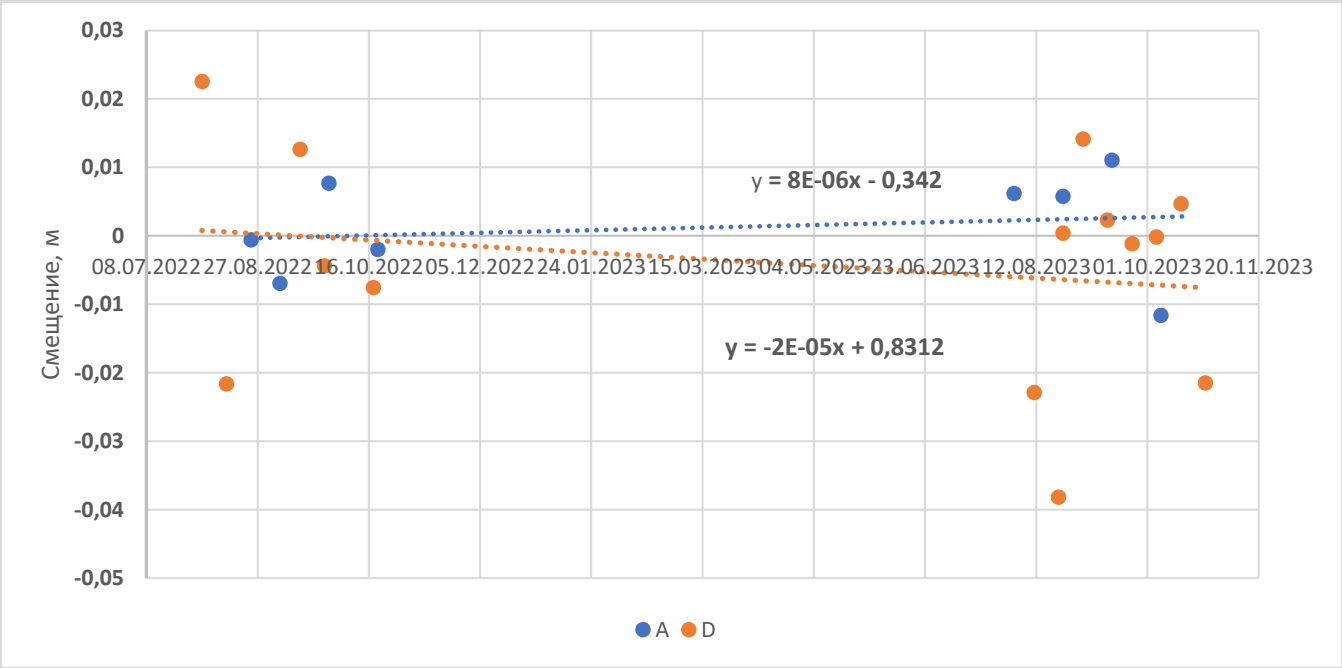
Август 2023 г.



Вертикальное смещение ледника Баркрак
(2023.08.20 – 2023.08.24)

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

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

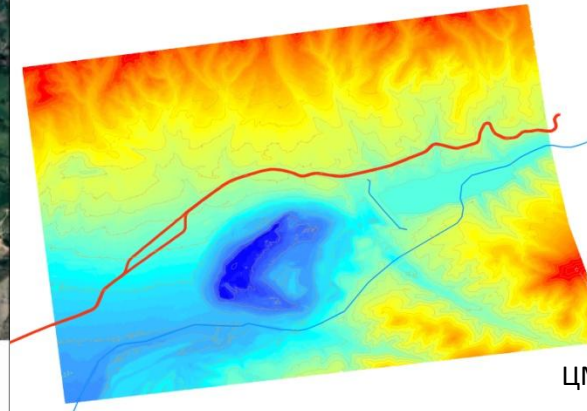
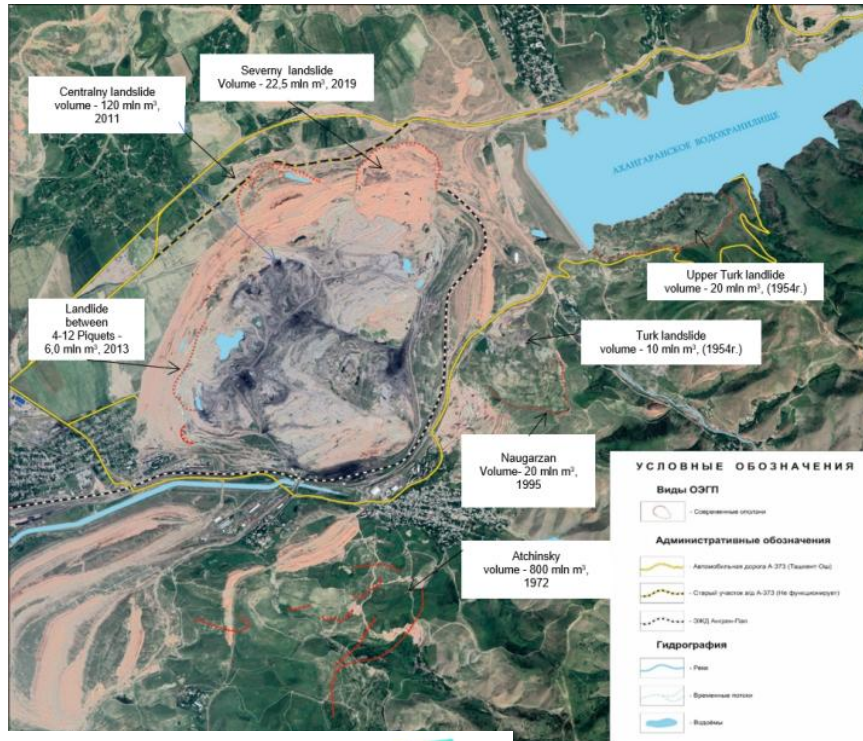


Ледник Баркрак Средний
A/D — тренд ≈ 0 мм/сут;

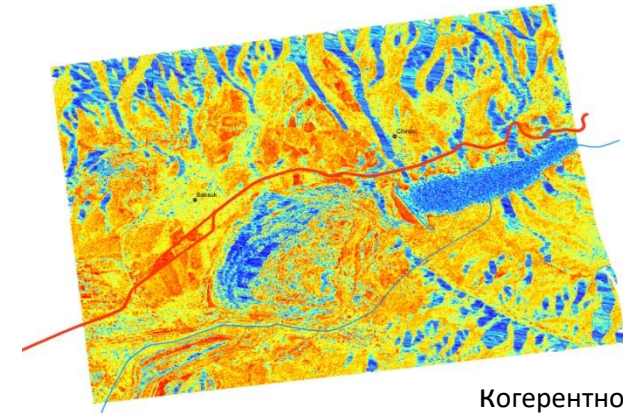
по отдельным парам — до 2 мм/сут ($\gamma \geq 0.3$).

Год	Пара снимков	Даты съёмки	Δh (м)	Дней	Сред. суточная скорость (мм/сут)
2023	PAZ–PAZ	13 авг – 4 сен	-0.050 ± 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.)	≈ 0	-	≈ 0

Оползни и техногенные деформации

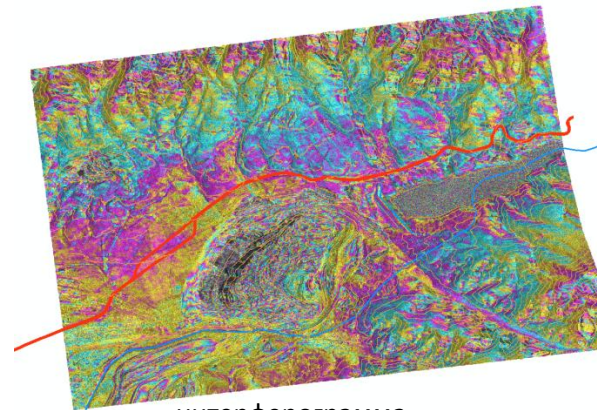


ЦМР

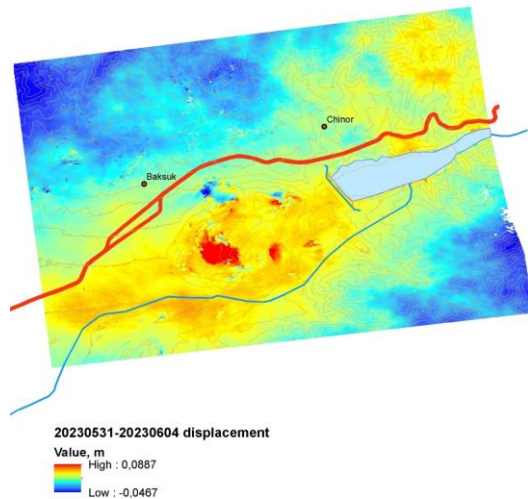
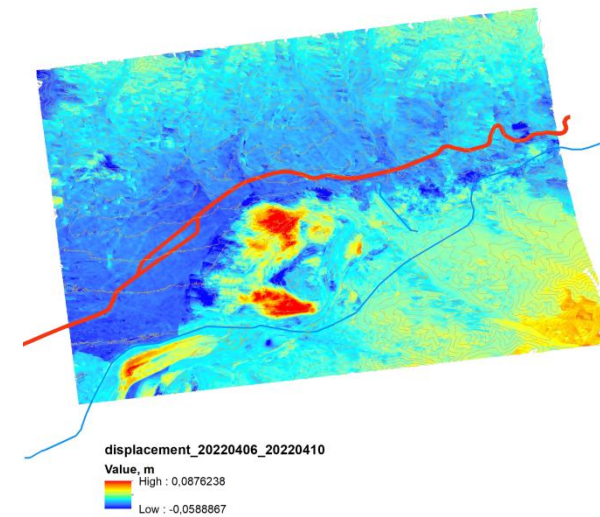


Когерентность

2022-04-06 - 2022-04-10



интерферограмма



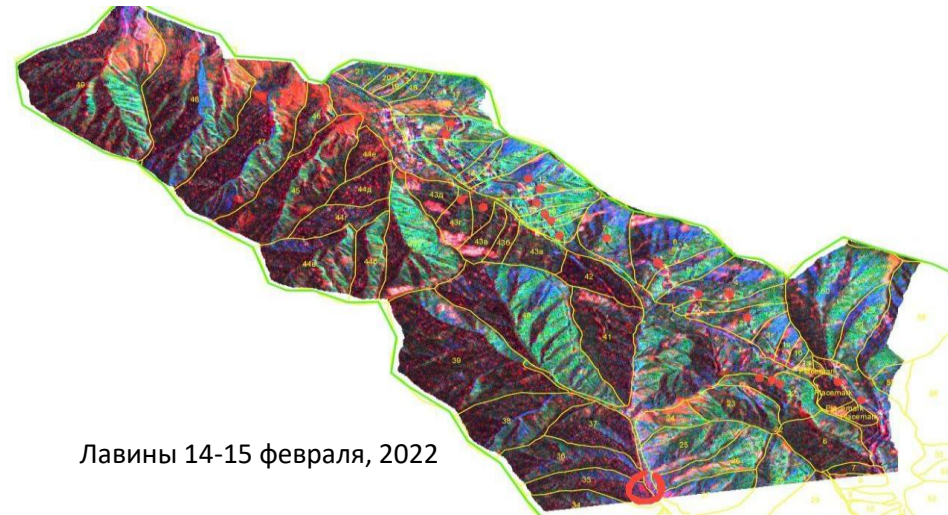
Семакова Э.Р., Нуртаев Б.С., Бимурзаев Г.А. О возможности изучения состояния оползневой активности методами радиолокационной интерферометрии, на примере оползней Ахангаранского водохранилища, Западный Тянь-Шань / Труды респ. науч.-практ. конф. «Фундаментальные, практические и инновационные решения геологических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

ВЫЯВЛЕНИЕ СЛЕДОВ ЛАВИН, TSX-PAZ-TSX

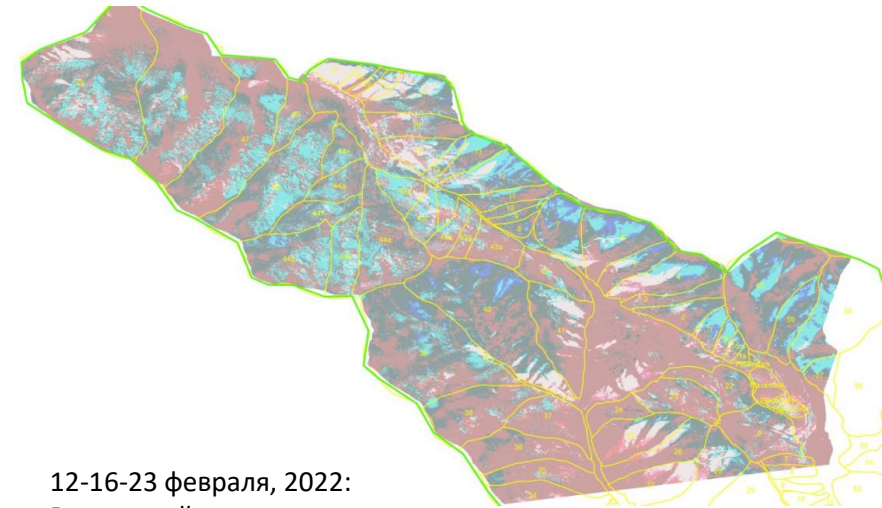
Методы:
Изменение когерентности и
интенсивности сигнала

Интервал съемки: 4 и 7 дней

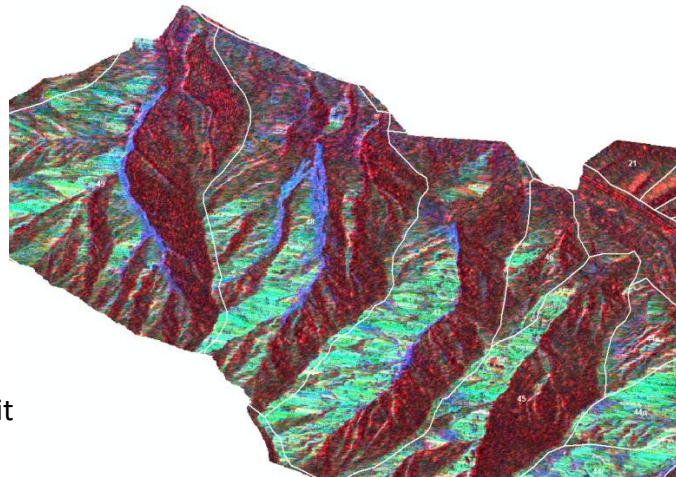
ЦМР: Global AW3D DEM



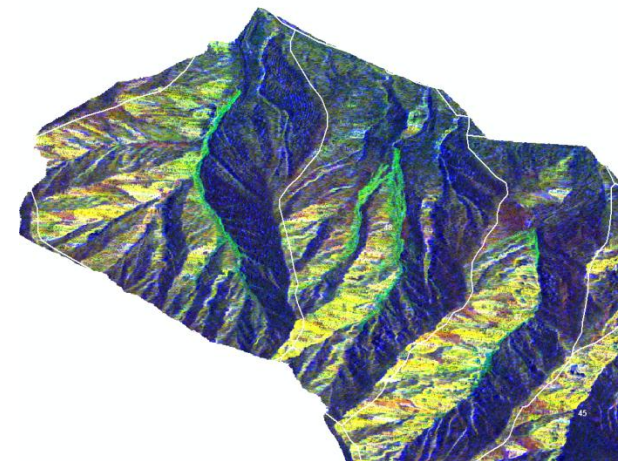
Лавины 14-15 февраля, 2022



12-16-23 февраля, 2022:
Временной ряд интенсивности сигнала



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



СЛЕДЫ СОШЕДШИХ ЛАВИН НА СНИМКАХ SENTINEL-1

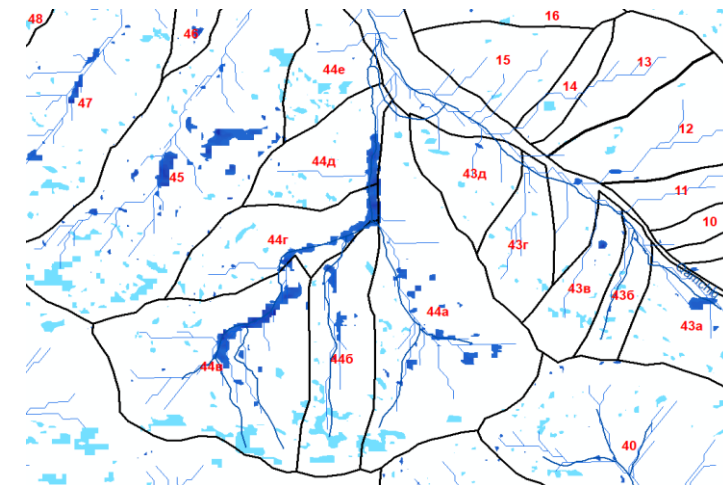
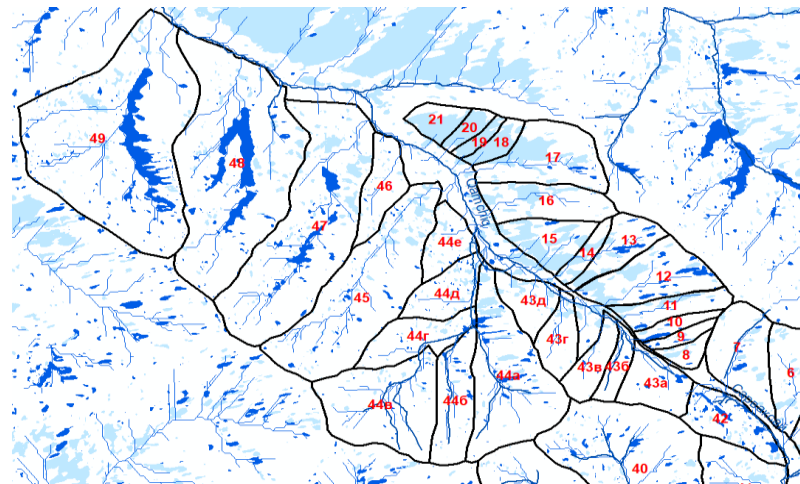
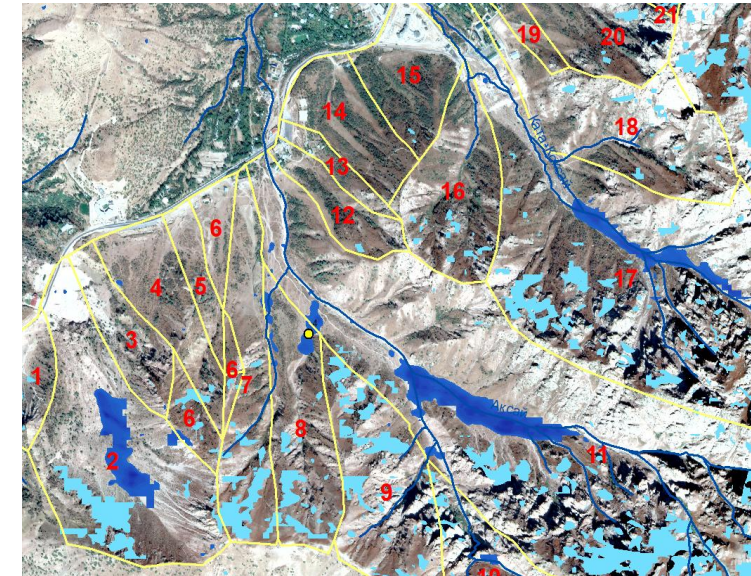
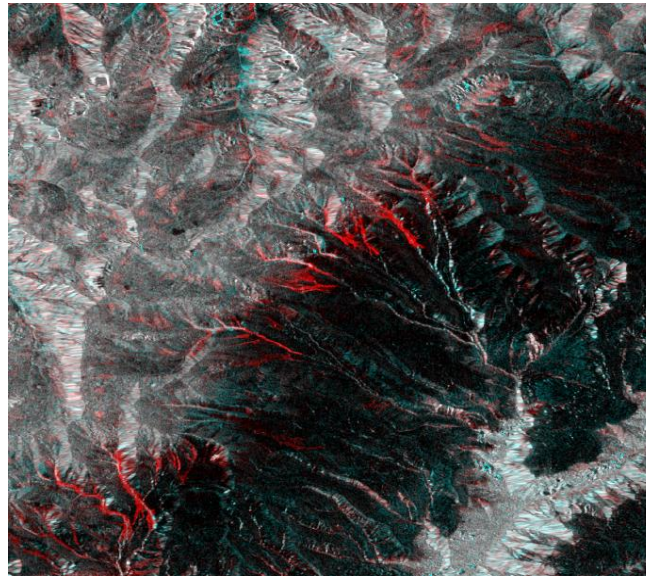
Семакова Э.Р., Поторжинский М.Г. Предварительные результаты к созданию методических рекомендаций по мониторингу снежных лавин в отрогах Западного Тянь-Шаня на основе использования снимков Sentinel-1 / Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21. № 1. С. 343-347, DOI: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

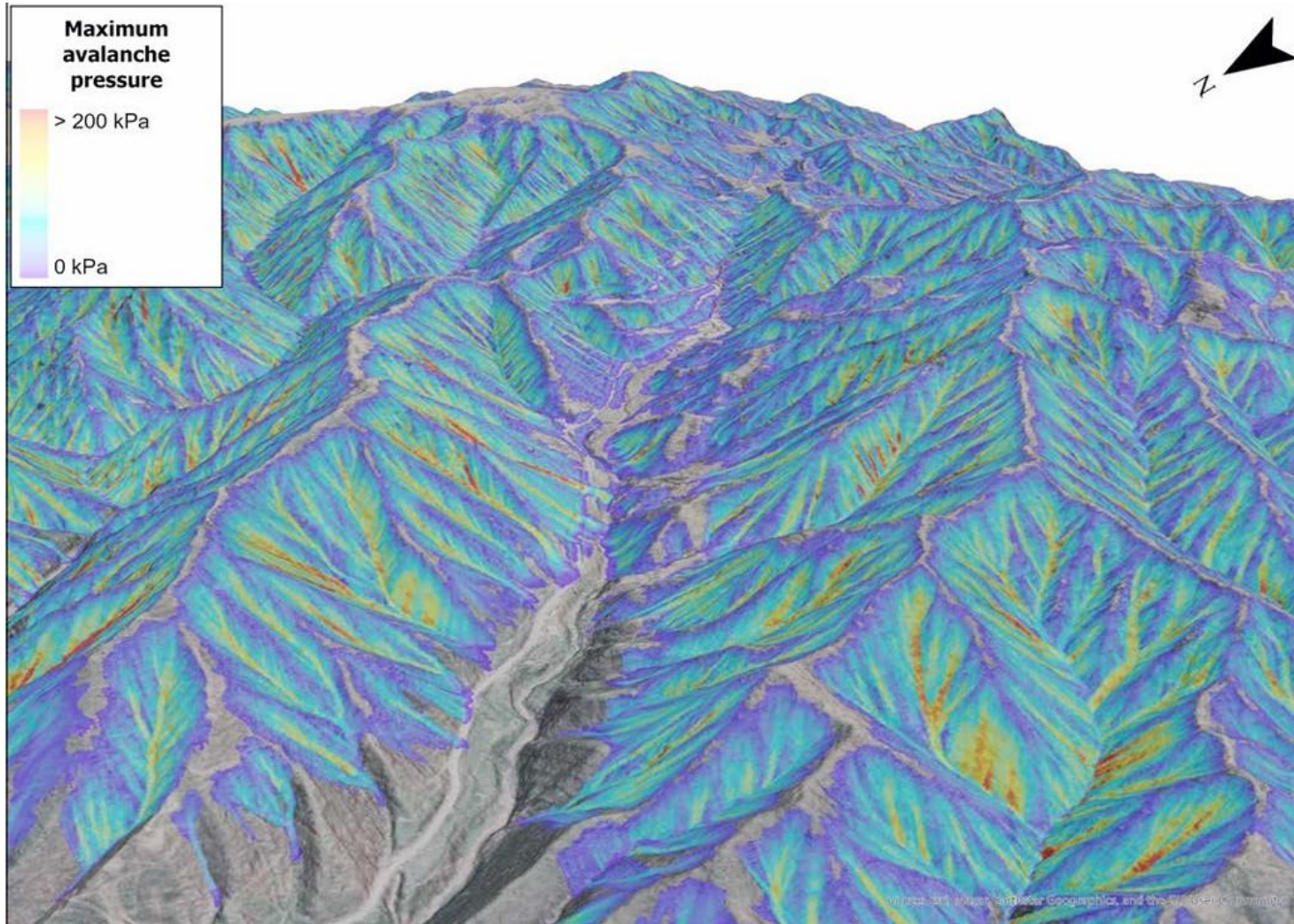
Методы:
Изменение интенсивности,
анализ σ^0 в различных
поляризациях сигнала и
крутизны склонов

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° до 45°;
 - 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 A 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