



Факультет географии и  
геоинформационных технологий

Москва  
2024

# **Крупномасштабное тематическое картографирование вулканических куполов на основе данных сверхвысокого разрешения**

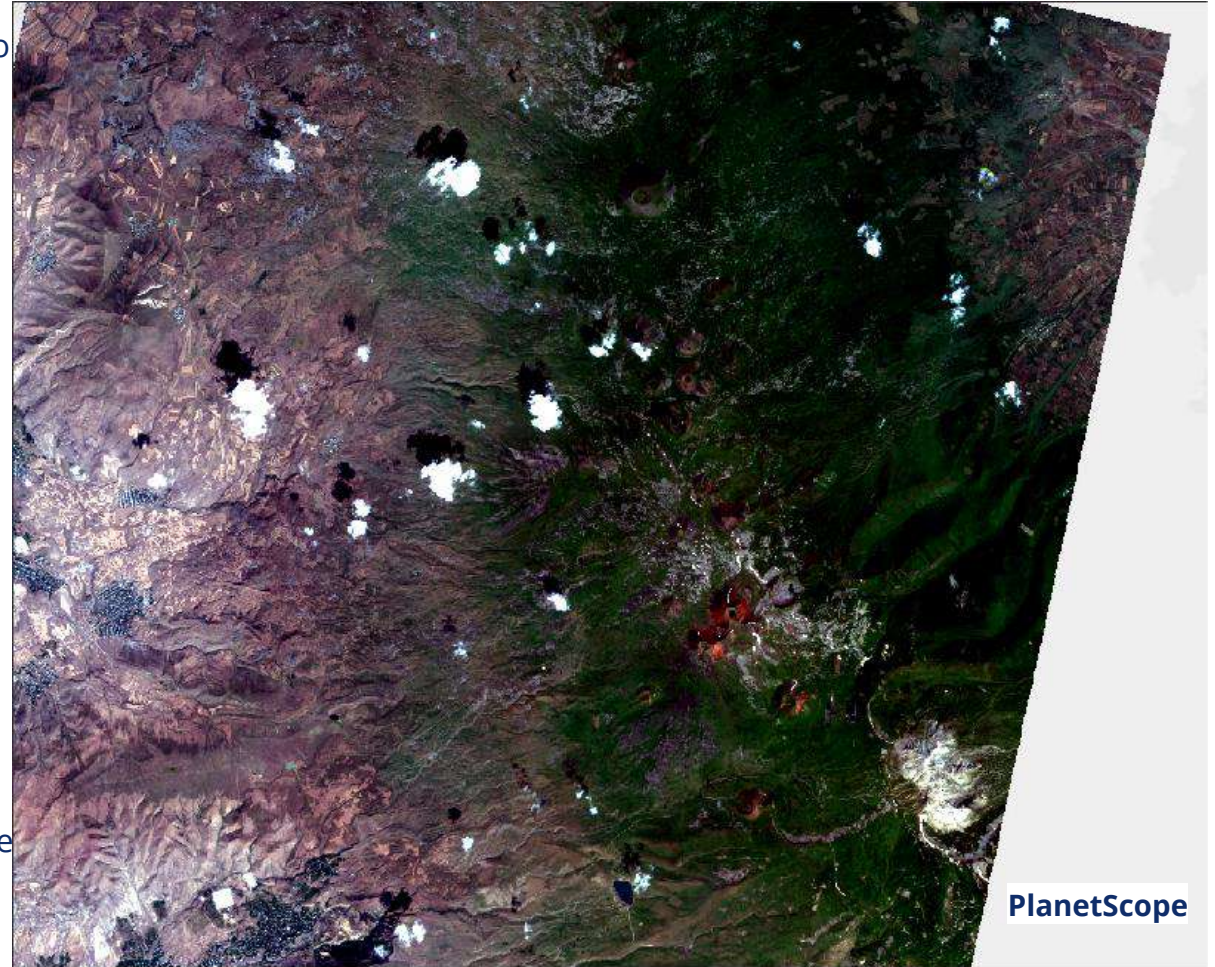
Пономарева Анастасия Игоревна, НИУ ВШЭ

Медведев Андрей Александрович, кандидат географических наук, заведующий отделом картографии и дистанционного зондирования Земли Института географии РАН



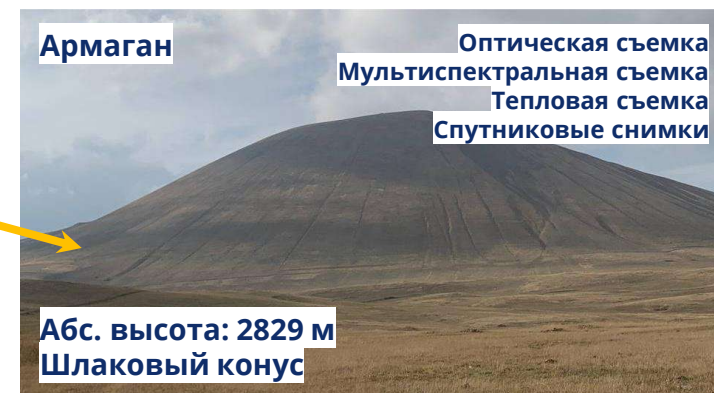
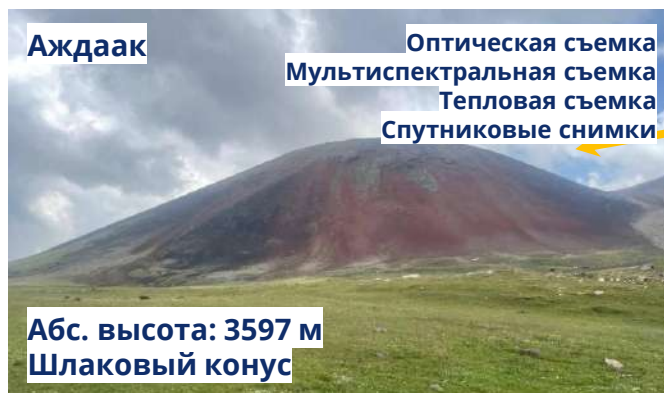
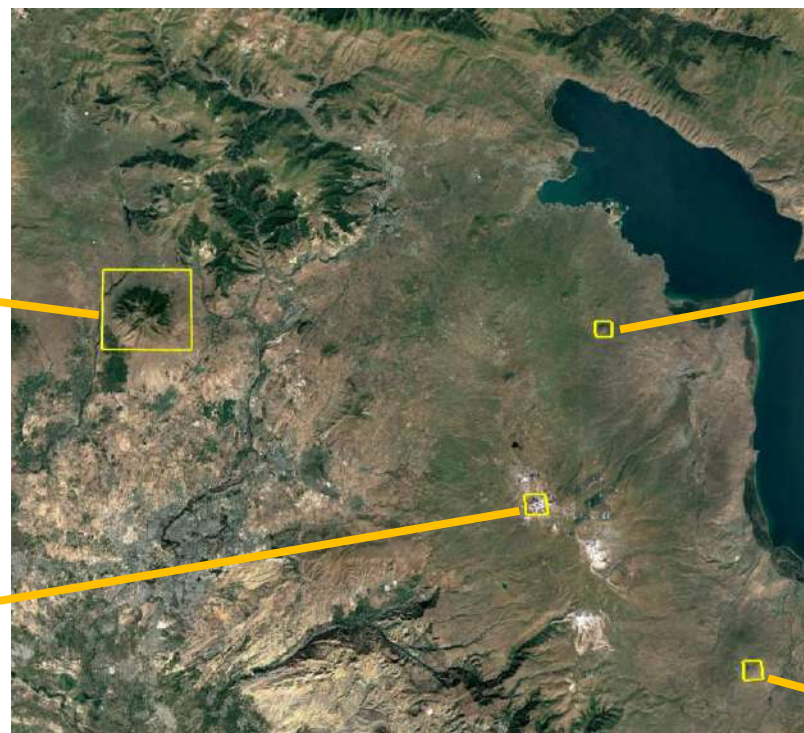
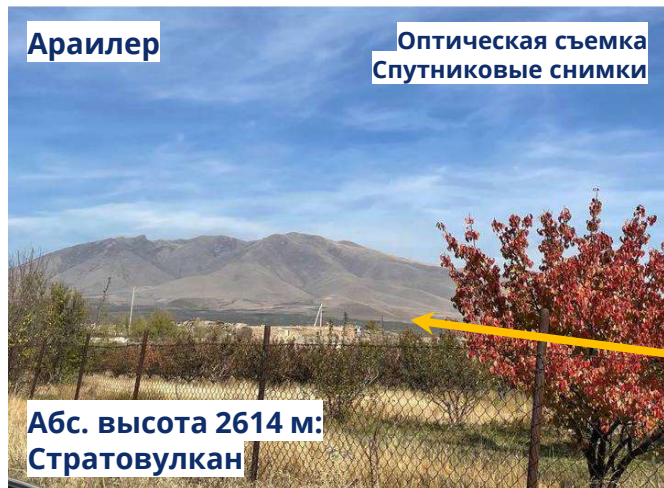
## Актуальность

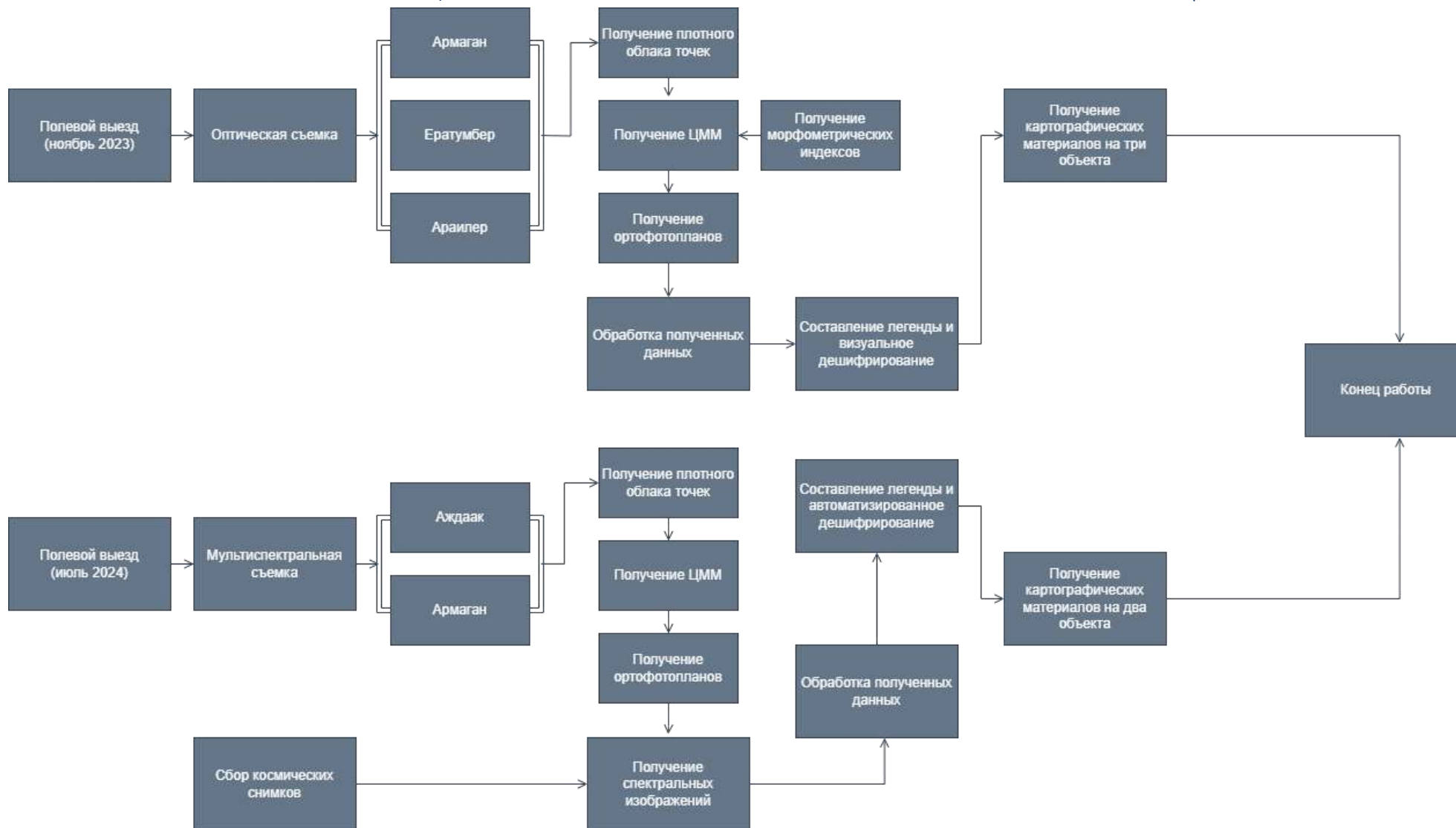
- Картографирование вулканических форм в Армении, особенно крупномасштабное (1:5'000 и 1:15'000), остается недостаточно освещенным в научной литературе, что ограничивает возможности для их мониторинга и анализа;
- Несмотря на значимость вулканов Армении как памятников природы, их детальное картографирование, включая оценку антропогенной нагрузки, еще не произведено;
- БПЛА активно применяются для картографирования вулканических объектов и процессов, включая анализ динамики изменений;
- Спутниковые снимки позволяют охватывать большие территории и регулярно отслеживать динамику изменений в почвенном и растительном покрове;
- Данные, полученные с БПЛА, обеспечивают изображения с высоким пространственным разрешением, что позволяет проводить более детальный анализ и локальное картографирование, выявляя аспекты, которые могут быть неразличимы на спутниковых снимках;
- Интеграция данных спутников и БПЛА обеспечивает сочетание большого количества спектральных индексов с высокой точностью, что повышает эффективность анализа и картографирования.





## Объекты исследования

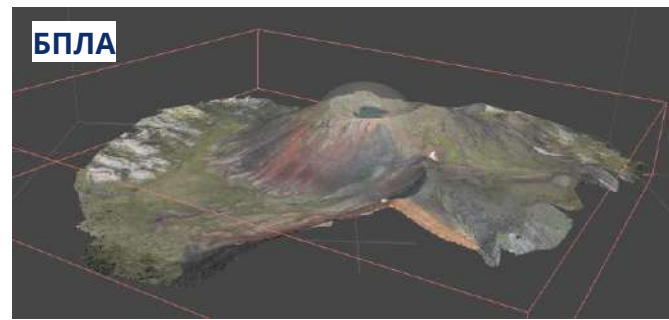
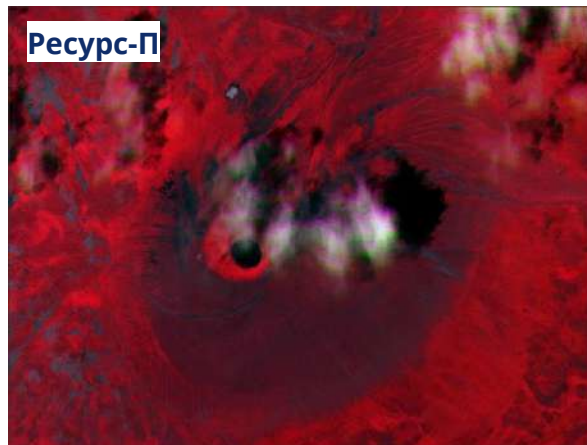






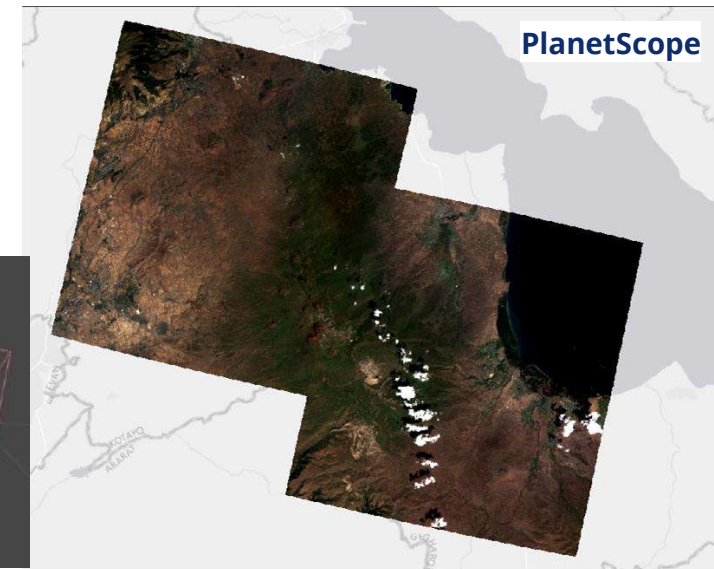
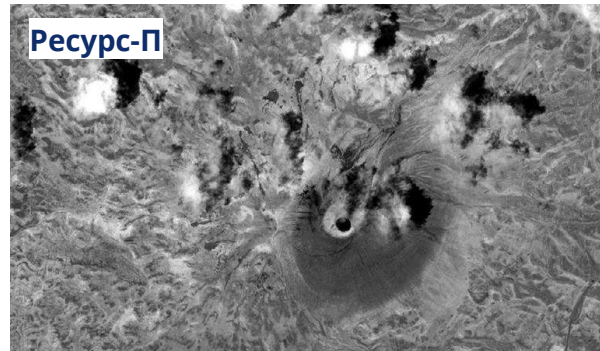
## Материалы

- Данные полевой верификации
- Ресурс-П (PAN/R/G/B/Nir)
- Sentinel-2 (C/B/G/R/NIR/SWIR)
- PlanetScope (CB/B/G1/G/Y/R/RE/NIR)
- Mavic 3M (R/G/RE/NIR)
- Mavic 3T (IR - Thermal)



## Методы

- Полевая верификация
- Фотограмметрическая обработка снимков с БПЛА
- Автоматизированное дешифрирование по индексным изображениям горных пород, растительного и почвенного покрова





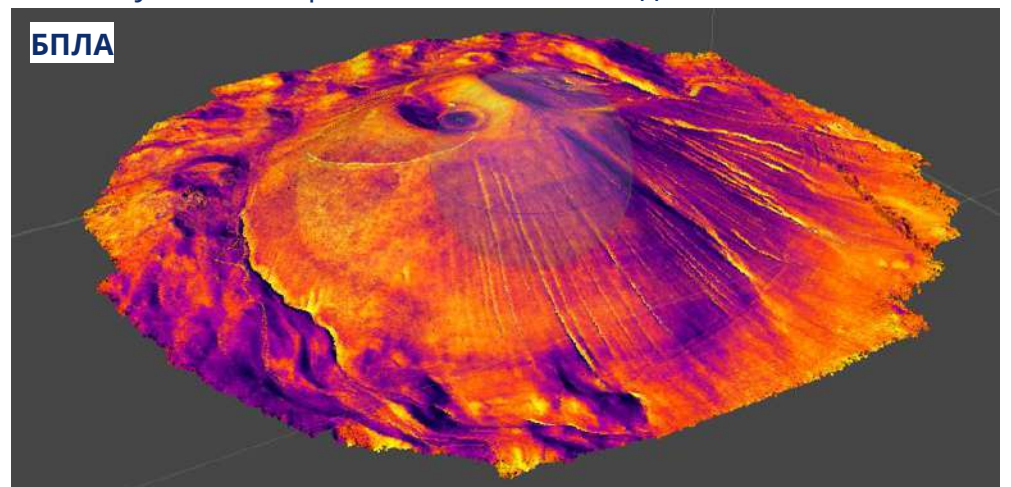
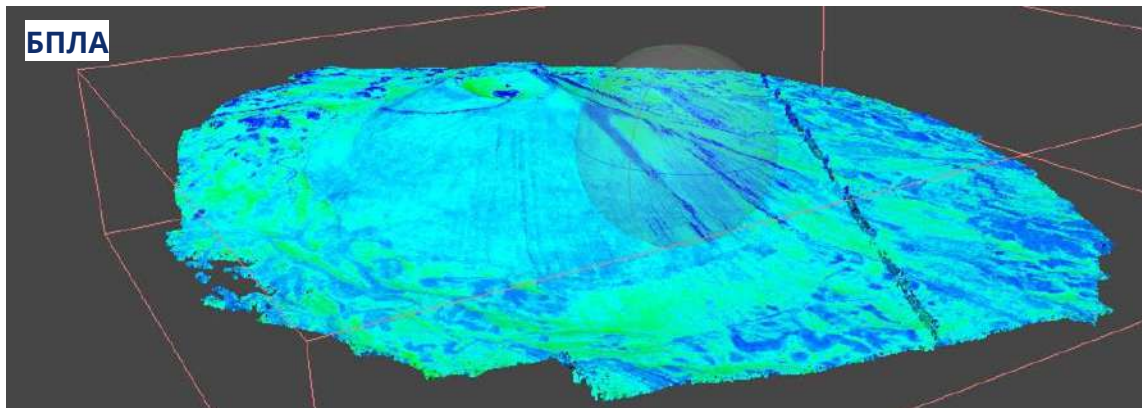
## Типы данных

### Спутниковые системы:

- Sentinel-2: мультиспектральные снимки, разрешение — 10 м для видимого и ближнего инфракрасного спектров, 20 м для крайнего красного и коротковолнового инфракрасного диапазона, 60 м для каналов атмосферной коррекции.
- PlanetScope: мультиспектральные снимки, разрешение — 3 м.
- Ресурс-П: мультиспектральные снимки, разрешение — 0,7–1,0 м для панхроматических каналов и до 3–4 м для мультиспектральных каналов.

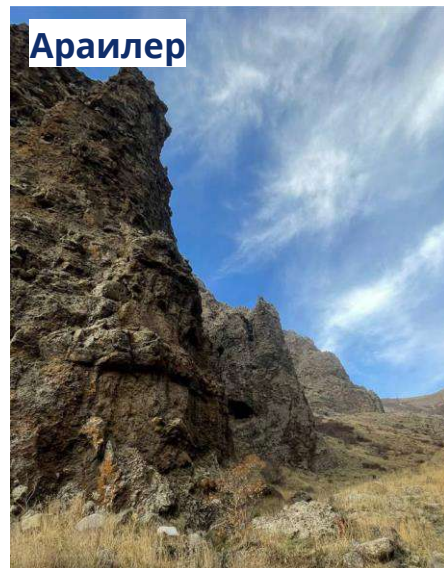
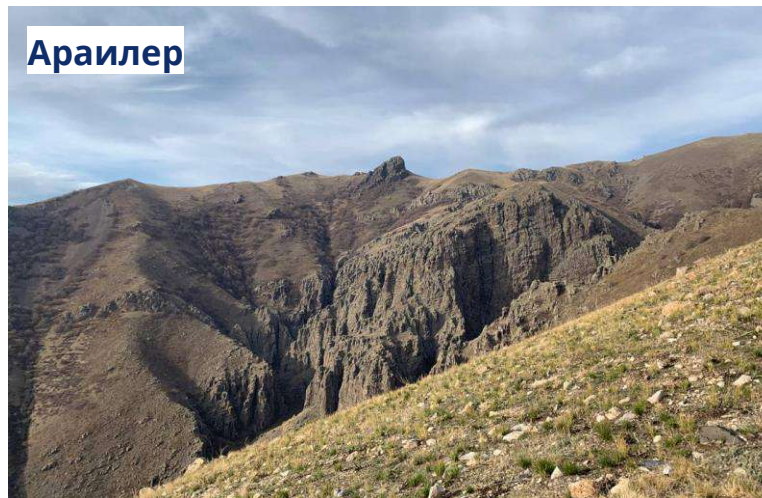
### БПЛА:

- Плотные облака точек (оптические/мультиспектральные/тепловые).
- Цифровые модели местности (ЦММ) (оптические/мультиспектральные/тепловые): 2–20 см.
- Ортофотопланы (оптические/мультиспектральные/тепловые): 2–10 см для оптических данных, около 10–30 см для мультиспектральных и тепловых данных.



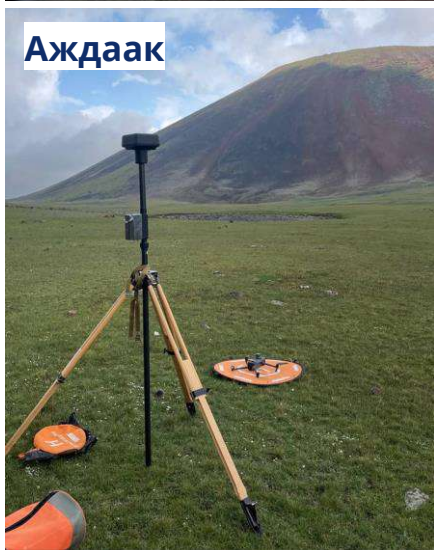


## Полевая верификация и съемка — 1





## Полевая верификация и съемка — 2





## БПЛА — фотограмметрическая обработка





## Результаты фотограмметрической обработки

В результате фотограмметрической обработка  
получены:

- Плотные облака точек
- Цифровые модели местности (ЦММ)
- Ортофотопланы

| Вулкан/<br>Цифровой<br>продукт  | Араилер | Армаган | Ератумбер | Аждаак |
|---------------------------------|---------|---------|-----------|--------|
| Плотное<br>облако<br>точек      |         |         |           |        |
| Цифровая<br>модель<br>местности |         |         |           |        |
| Ортофото-<br>план               |         |         |           |        |

| Вулкан/<br>Цифровой<br>продукт                   | Араилер     | Армаган     | Ератумбер   | Аждаак     |
|--|-------------|-------------|-------------|------------|
| Связующее<br>облако точек                        | 843'986     | 748'314     | 372'303     | 2'877'314  |
| Плотное<br>облако точек                          | 338'052'166 | 244'393'088 | 150'988'995 | 90'982'028 |
| Пространственн<br>ое разрешение<br>ЦММ           | 46,3 см     | 15,2 см     | 18,8 см     | 25,6 см    |
| Пространственн<br>ое разрешение<br>ортофотоплана | 23,16 см    | 7,6 см      | 9,4 см      | 12,8 см    |



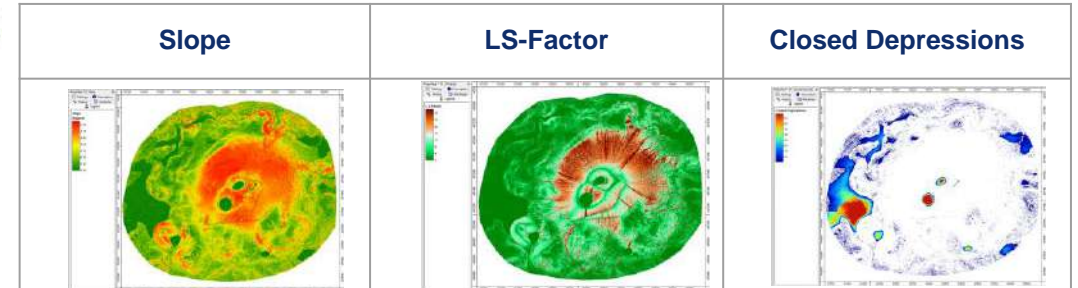
## Морфометрические индексы



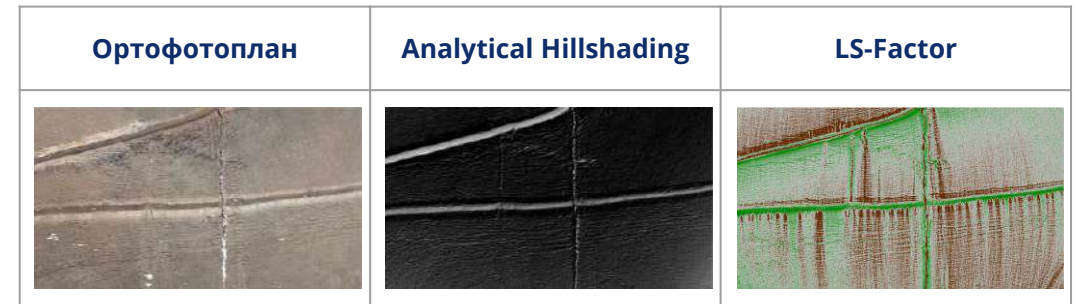
Было построено 14 морфометрических индексов для  
вулканов Армаган и Ератумбер:

1. Аналитическая теневая модель (Analytical Hillshading)
2. Крутизна (Slope)
3. Относительное положение наклона (Relative Slope Position)
4. Экспозиция (Aspect)
5. Плановая кривизна (Plan Curvature)
6. Кривизна профиля (Profile Curvature)
7. Индекс сходимости (Convergence Index)
8. Закрытые понижения (Closed Depressions)
9. Общая площадь водосбора (Total Catchment Area)
10. Топографический индекс влажности (Topographic Wetness Index)
11. Относительный показатель эрозии (LS-Factor)
12. Базовый уровень сети каналов (Channel Network Base Level)
13. Расстояние до русла речной сети (Channel Network Distance)
14. Глубина долин (Valley Depth)

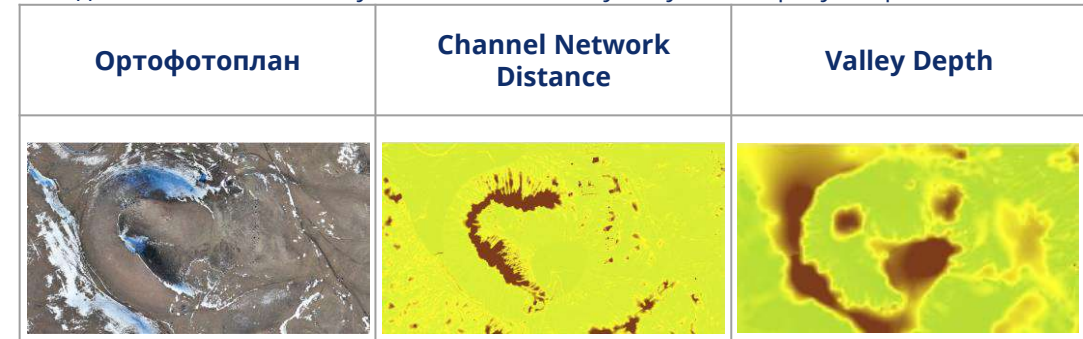
Вулкан Ератумбер.



Выделение эрозионных процессов на вулкане Ератумбер.

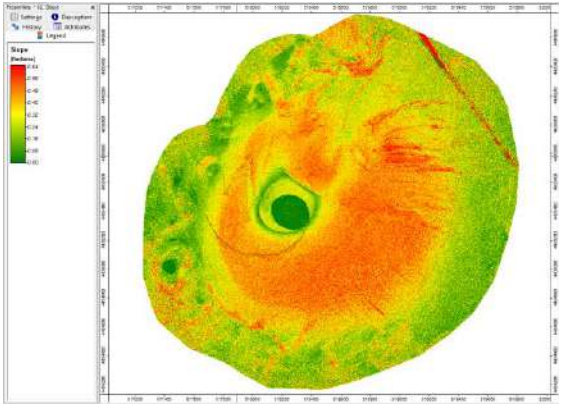
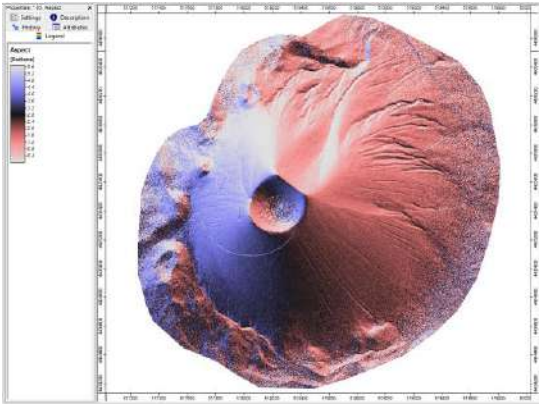
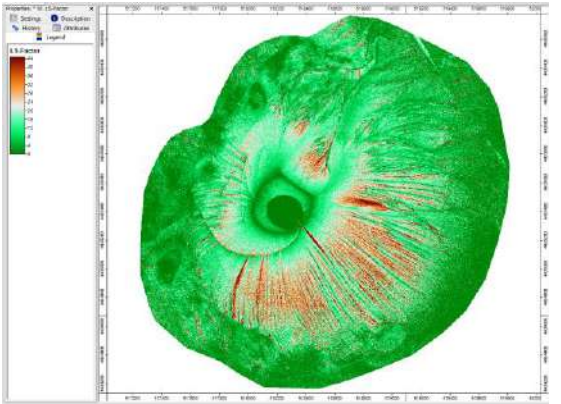
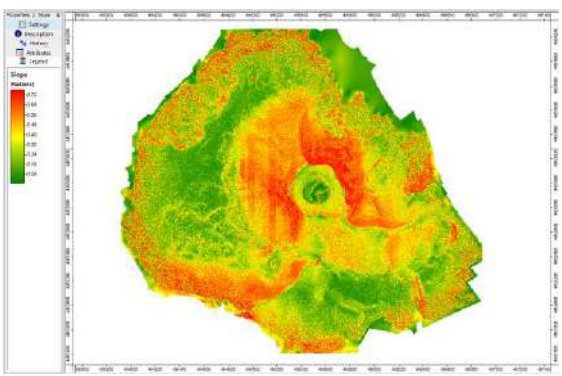
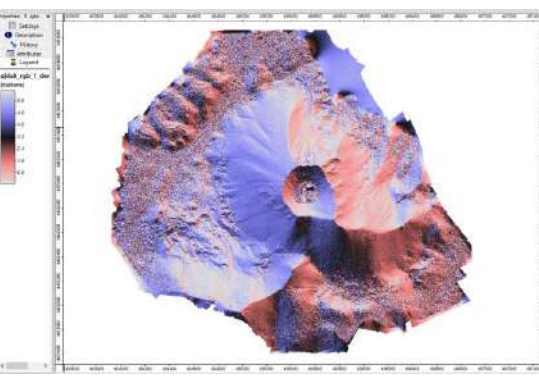
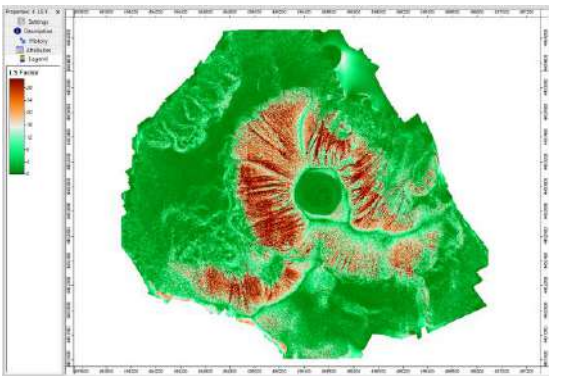


Выделение побочного вулканического конуса вулкана Ератумбер.



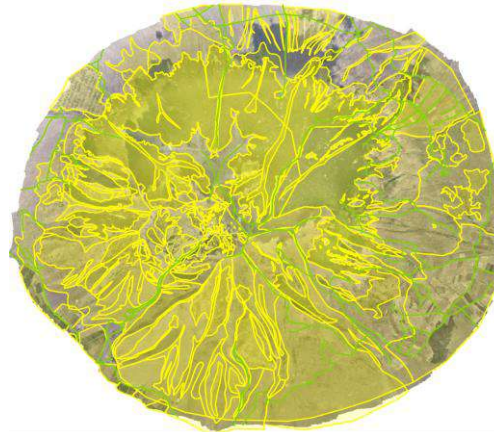


## Морфометрические индексы для мультиспектральных материалов

| Вулкан / Индекс | Slope   | Aspect   | L-S Factor   |
|-----------------|---|--|--|
| Армаган         |   |   |   |
| Аждаак          |  |  |  |

## Составление карт

1. Интеграция цифровых данных в единый проект
2. Составление легенды
3. Составление предварительных схем  
дешифрирования
4. Визуальное дешифрирование трех объектов
5. Оформление карт







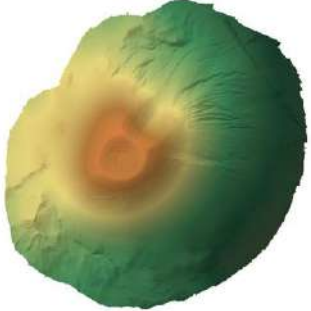



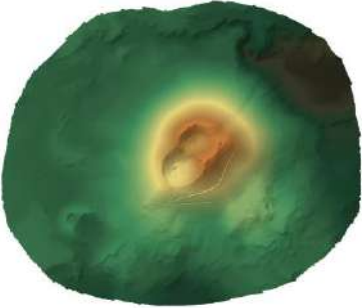



Процесс визуального дешифрирования  
в. Араилер



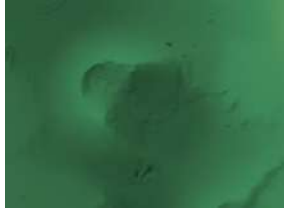

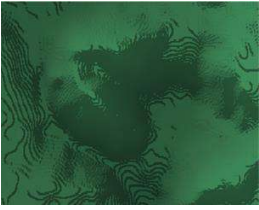













### Легенда для карты вулкана Армаган

|   |   |
|---|---|
| <p><b>Особенности рельефа</b></p>       | <p>Эрозионные борозды<br/>Вулканический конус<br/>Лавовые потоки<br/>Россыпи обломочных материалов<br/>Кратер<br/>Поверхности лавовых потоков с холмистым эрозионным мезорельефом<br/>Речная долина<br/>Равнинные области накопления вулканогенного материала</p> |
| <p><b>Процессы</b></p>                  | <p>Эрозия<br/>Осыпные процессы</p>  |
| <p><b>Антропогенное воздействие</b></p> | <p>ЛЭП<br/>Грунтовые и полевые дороги<br/>С/Х угодья<br/>Хозяйственная деятельность</p>   |



|           | UAV   | SRTM   | AW3D30  | ASTER   |
|-----------|---|--|---|---|
| Араилер   |    |    |    |    |
| Армаган   |    |    |    |    |
| Ератумбер |  |  |  |  |



| Вулкан  | UAV   | SRTM   | AW3D30  | ASTER   |
|---|---|--|---|---|
| Побочный<br>вулканический<br>конус<br>(Ератумбер) |    |    |    |    |
| Грунтовая<br>дорога<br>(Ератумбер)                |    |    |    |    |
| Эрозионные<br>борозды<br>(Армаган)                |   |   |   |   |
| Эрозионные<br>каньоны<br>(Араилер)                |  |  |  |  |

## Спектральные индексные изображения

- **Sentinel-2 (EO Browser)**

- Agriculture
- Barren soil
- EVI
- NDVI
- SAVI
- Moisture stress (MS)
- Moisture index (MI)

- **Ресурс-П**

- NDVI
- GNDVI
- SAVI
- Iron oxide (IO)

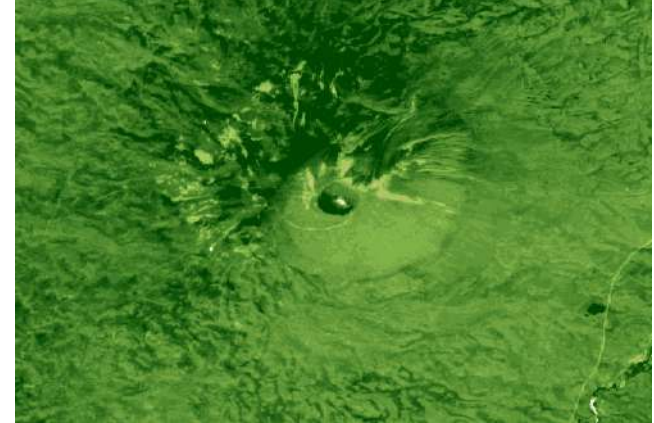
- **PlanetScope**

- EVI
- NDVI
- SAVI
- GNDVI
- RENDVI
- VARI
- Iron oxide (IO)
- Redness index (RI)

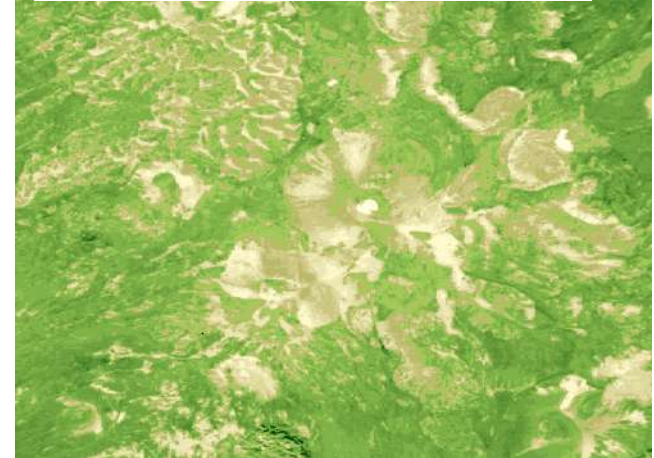
- **Mavic 3M**

- NDVI
- RENDVI
- GNDVI
- SAVI
- Redness index (RI)

Армаган / Sentinel-2 240912/ NDVI



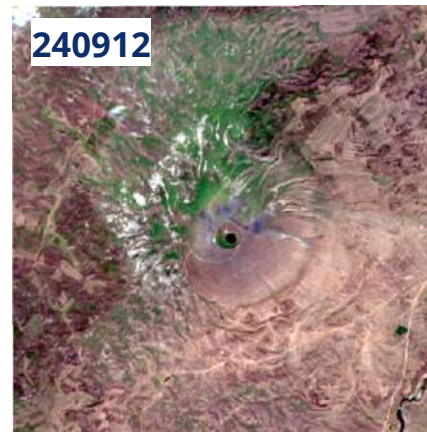
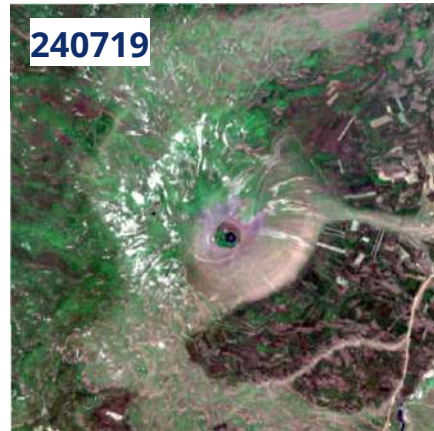
Аждаак / Sentinel-2 230923 / EVI





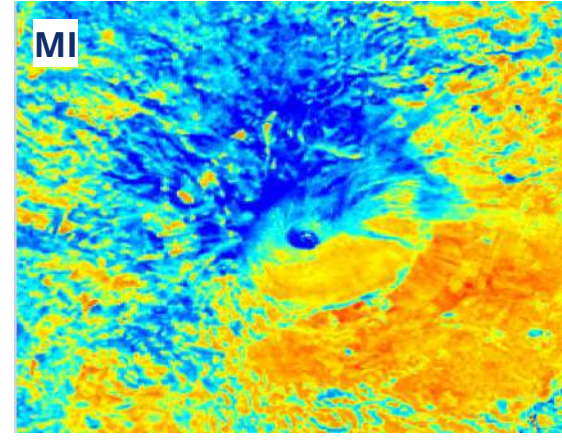
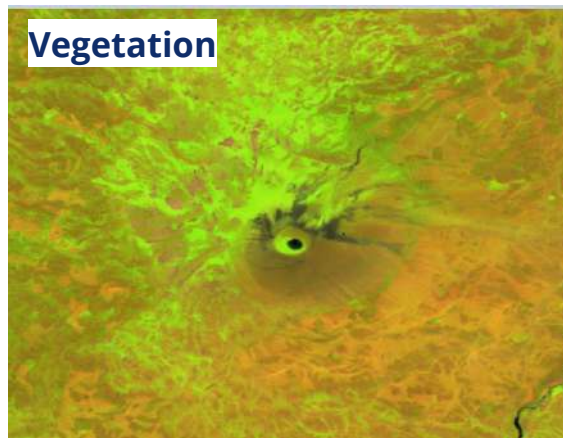
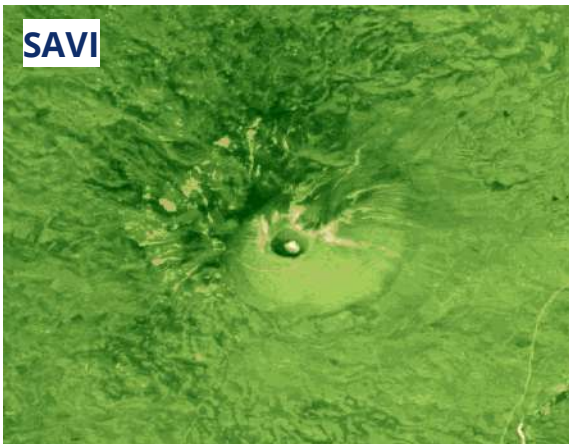
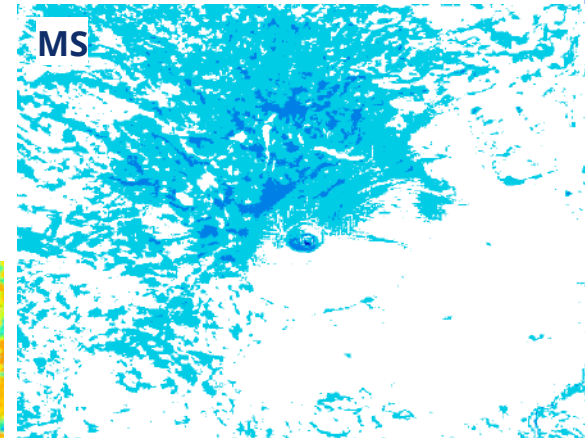
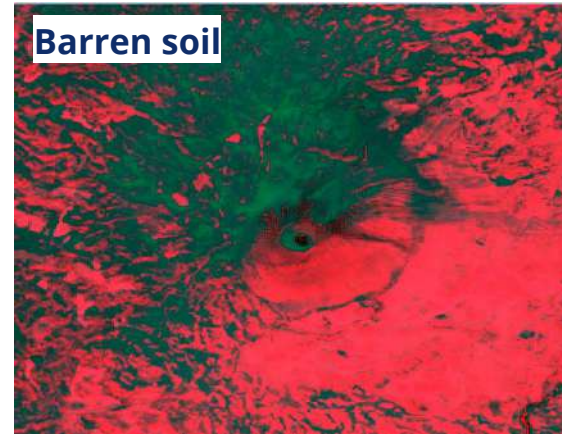
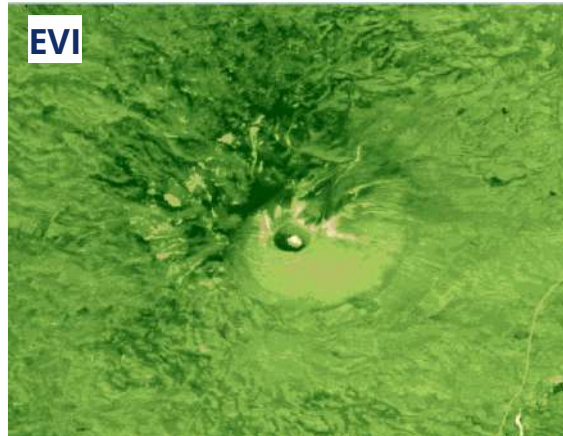
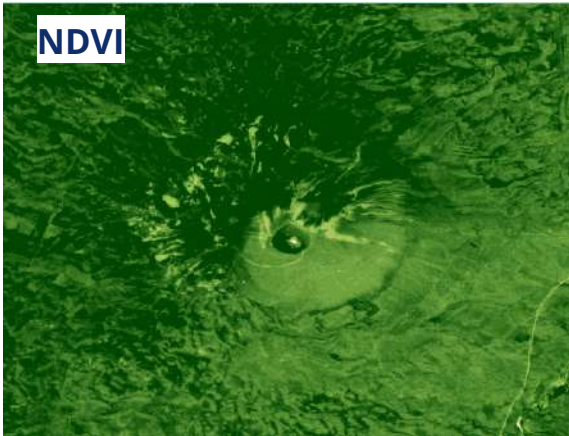


## Sentinel-2 — Армаган



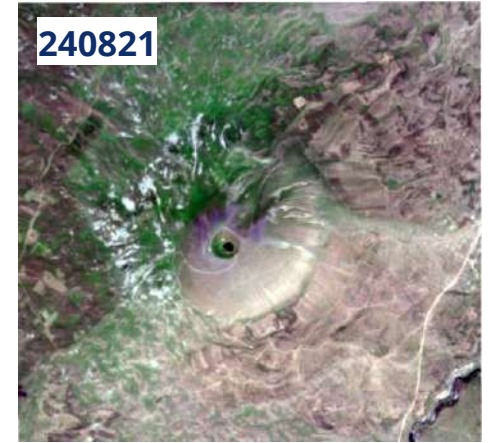
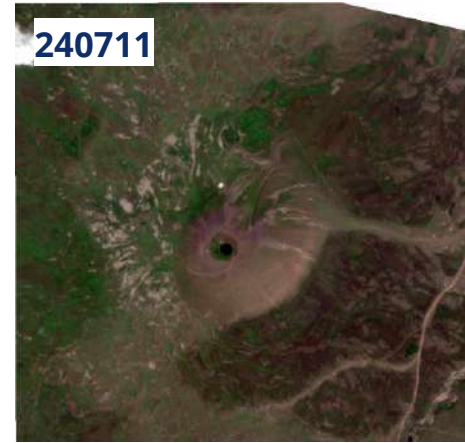


## Sentinel-2 — Армаган — 240823



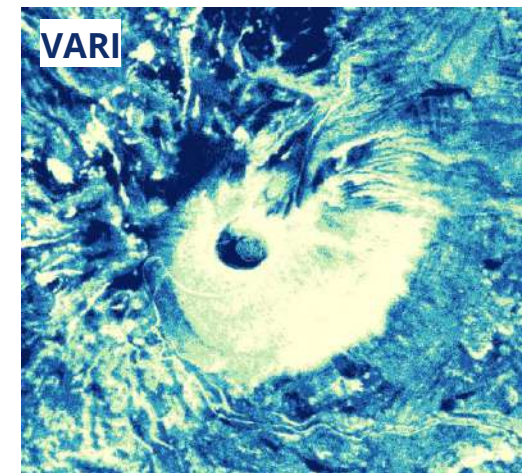
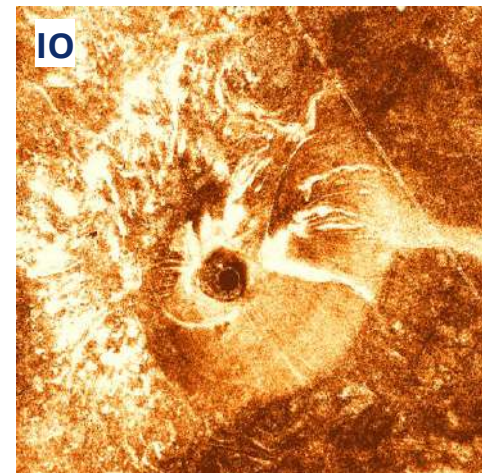
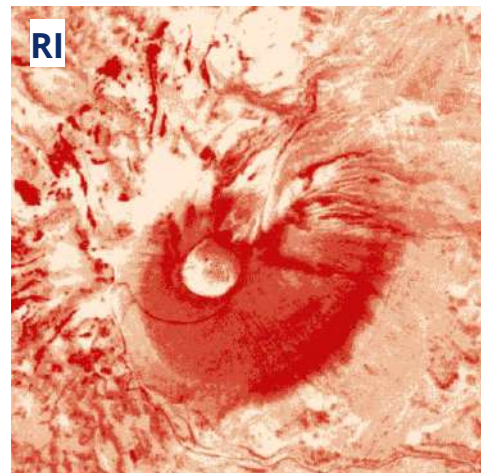
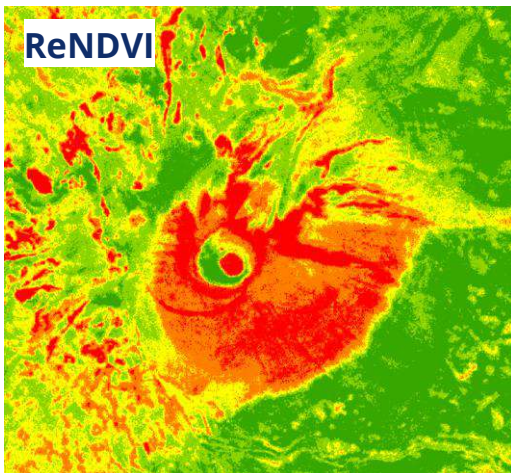
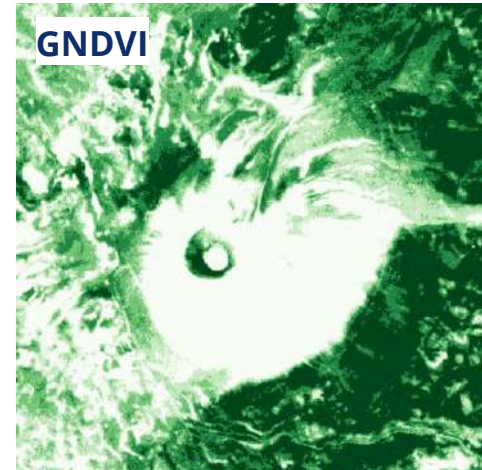
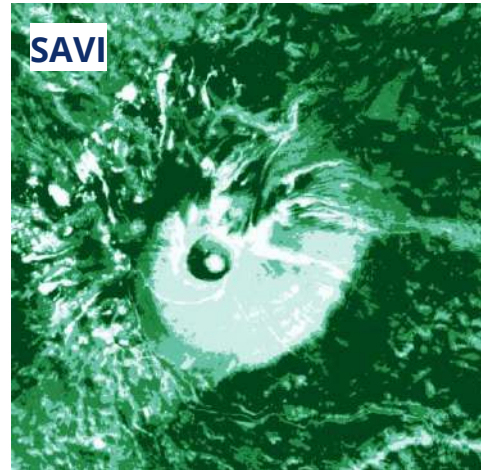
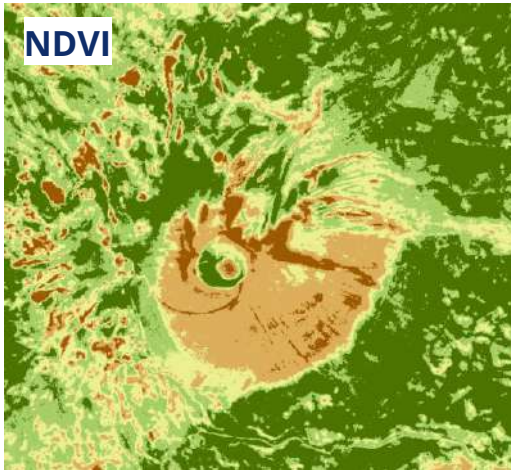


## PlanetScope — Армаган



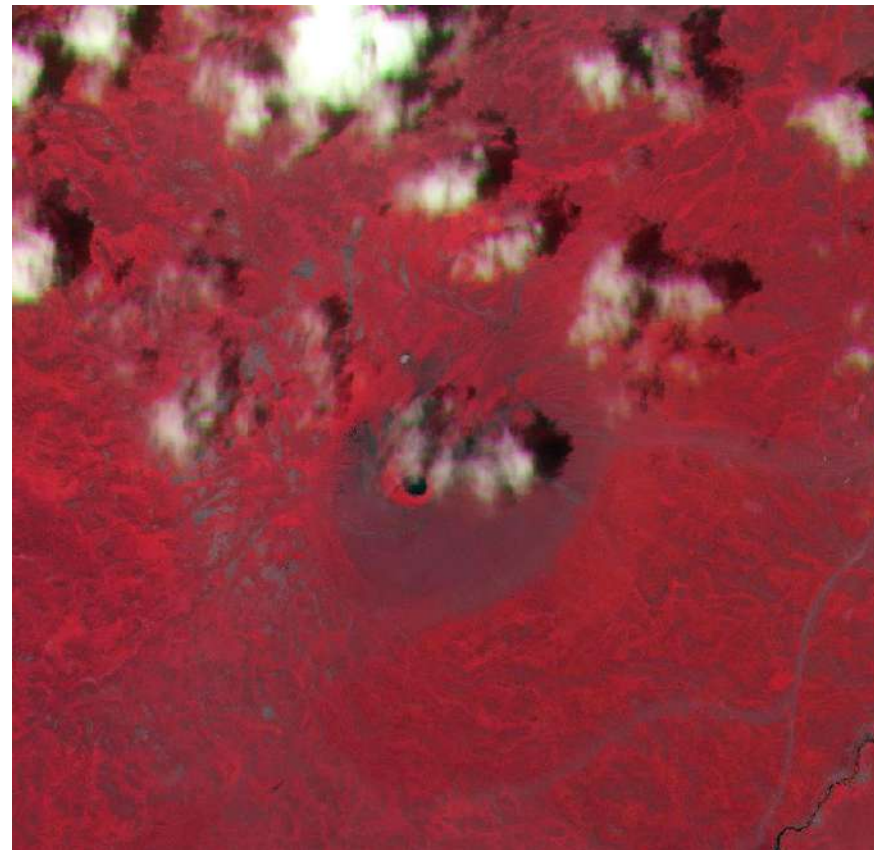
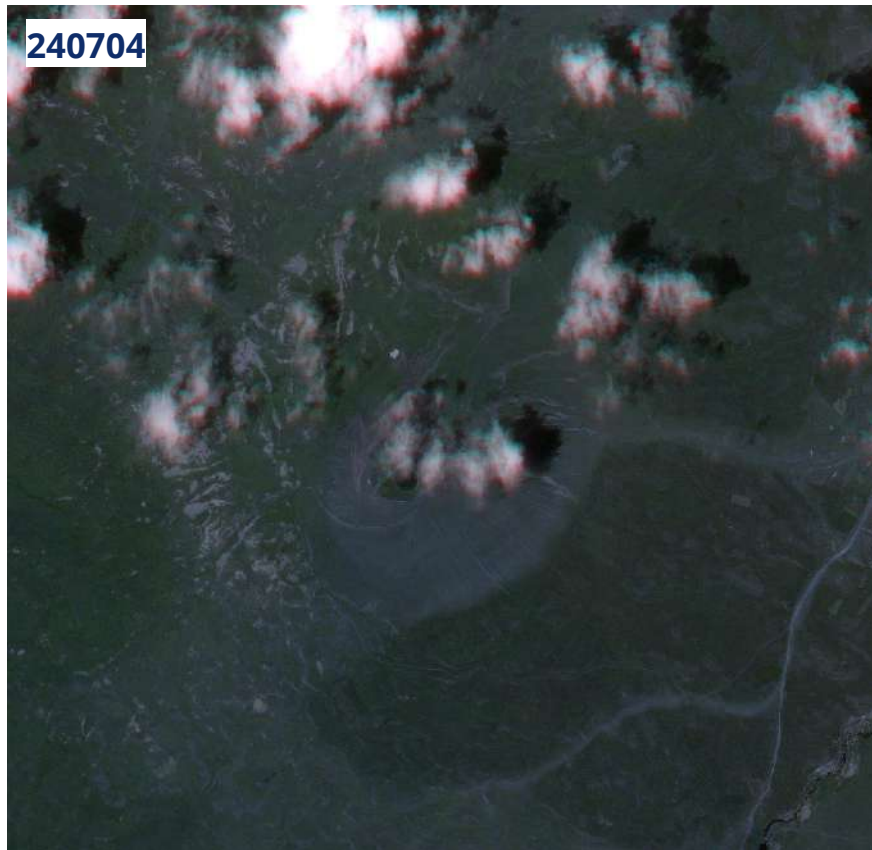


## PlanetScope — Армаган — 11.07.2024



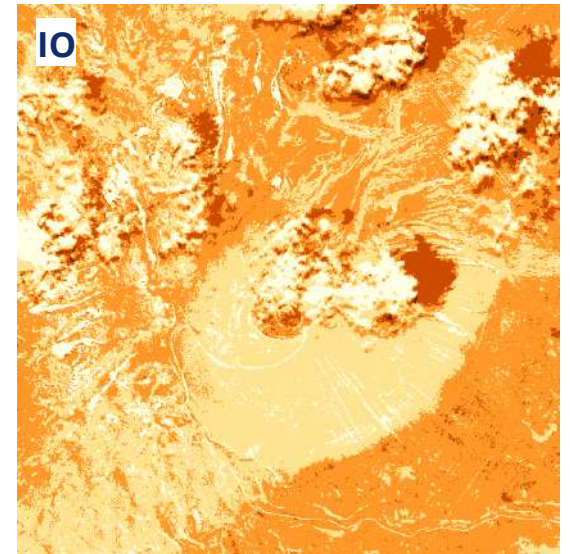
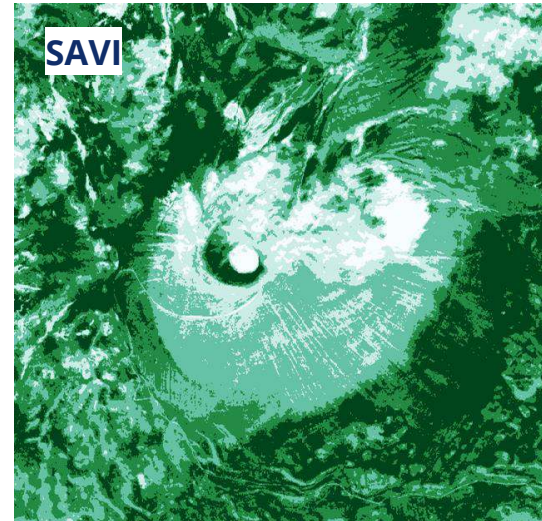
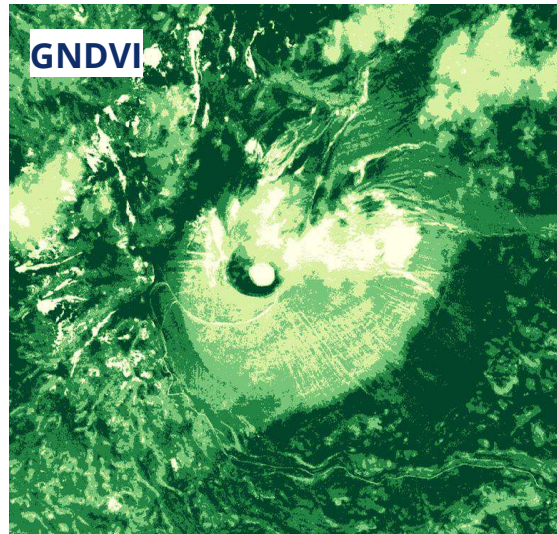
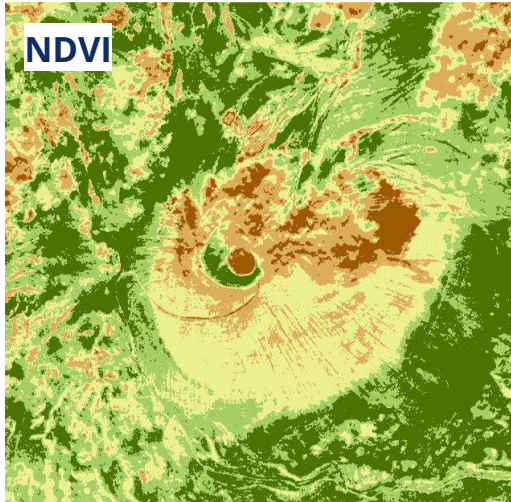


## Ресурс-П — Армаган



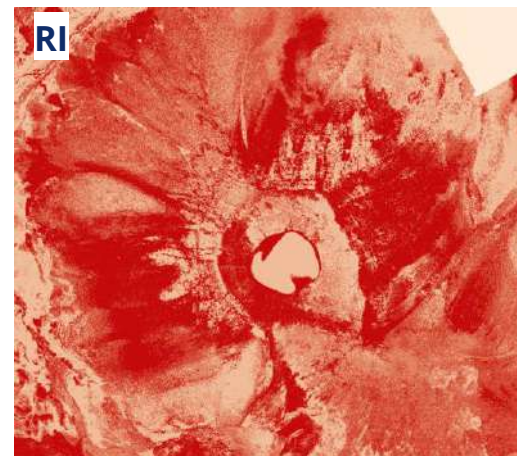
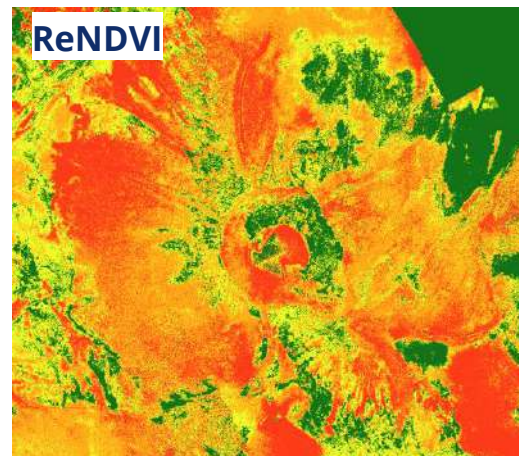
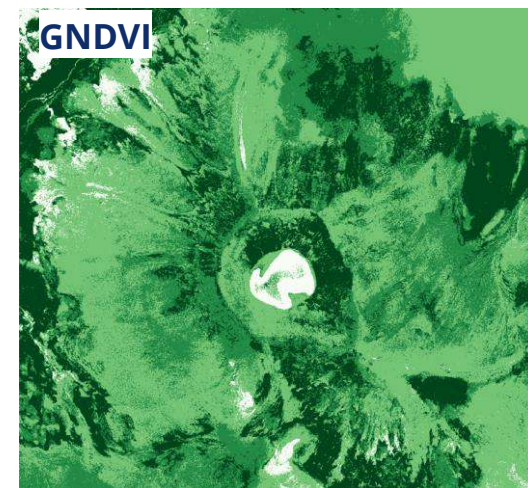
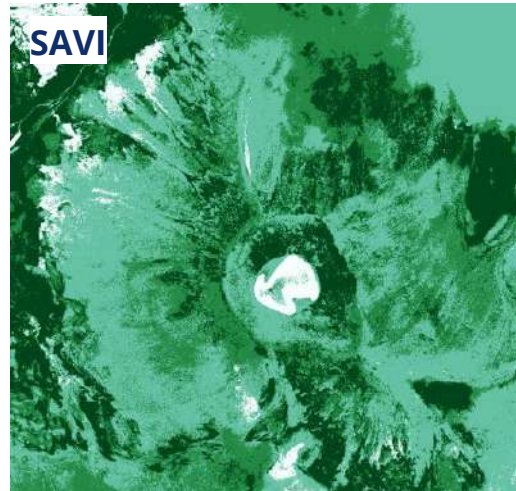
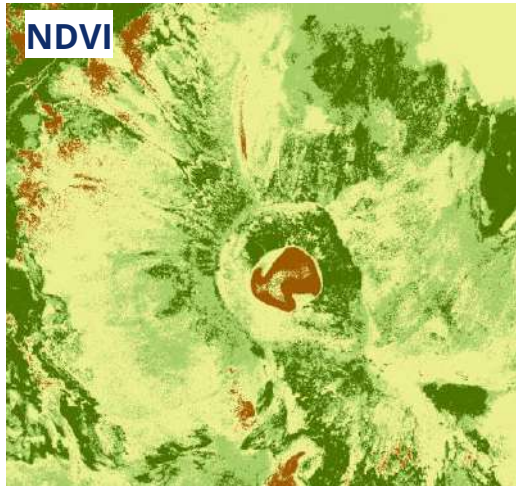


## Ресурс-П — Армаган — 04.07.2024



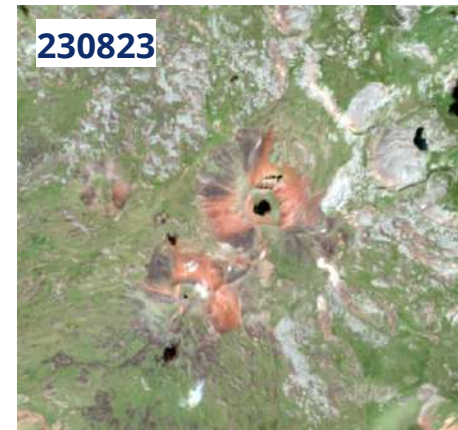
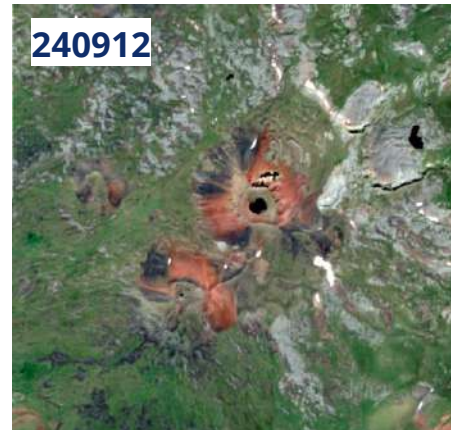


## Mavic 3M (БПЛА)





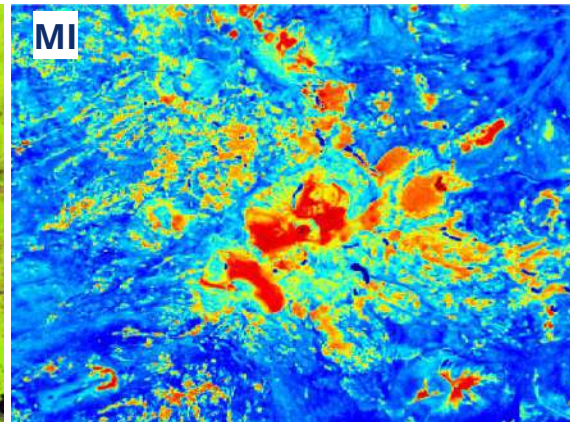
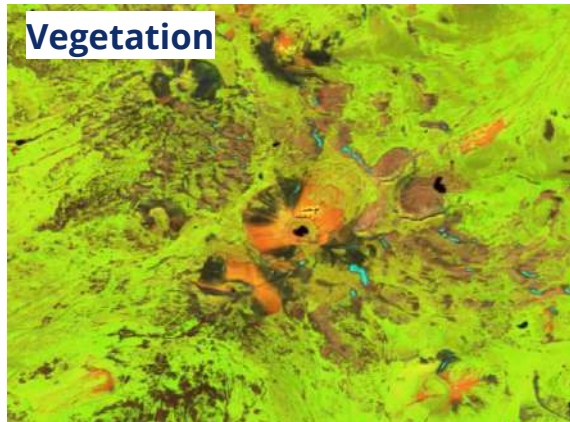
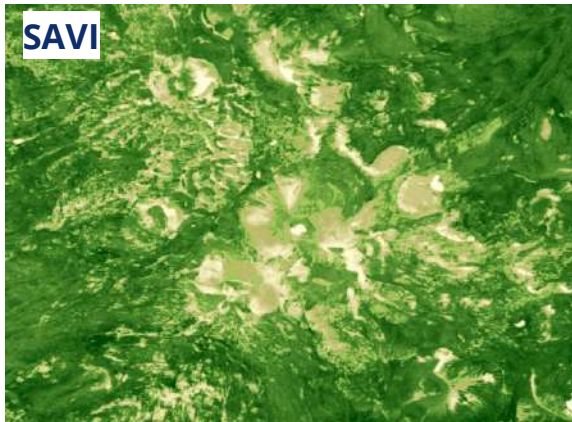
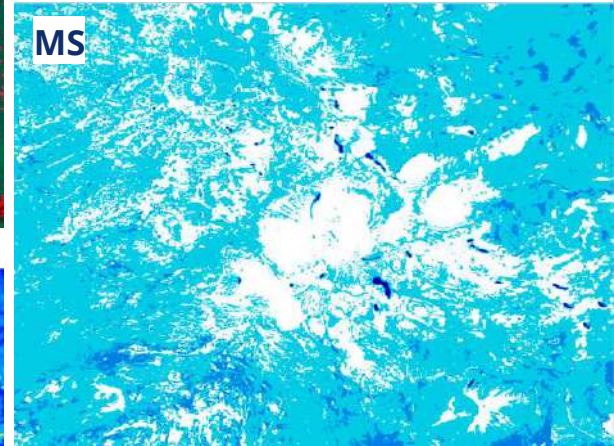
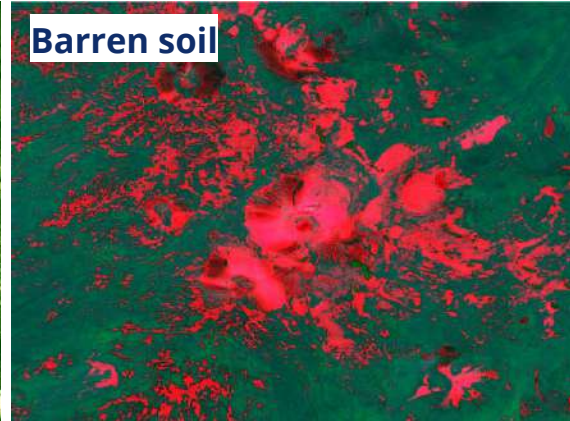
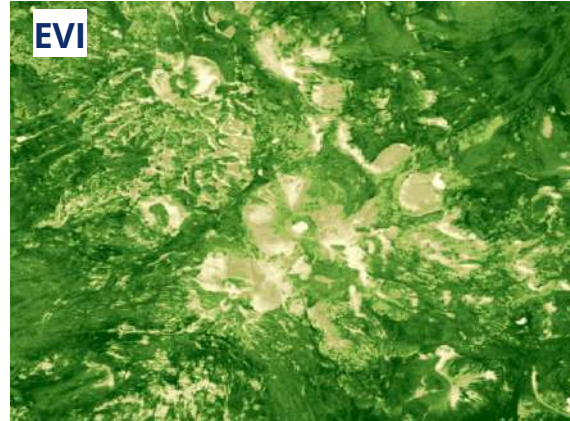
## Sentinel-2 — Аждаак





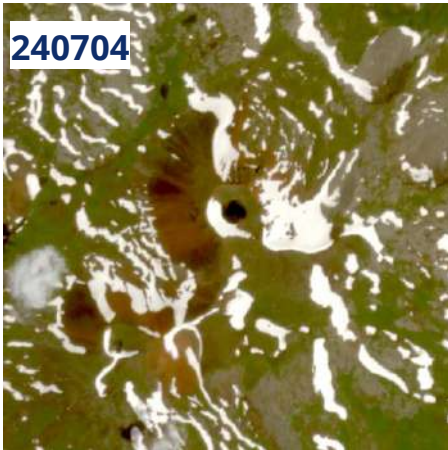


## Sentinel-2 — Аждаак — 240902



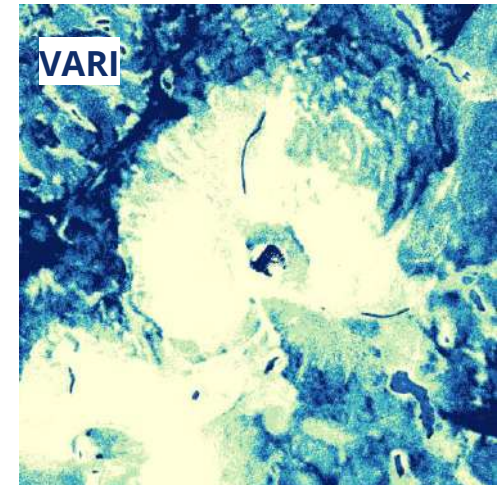
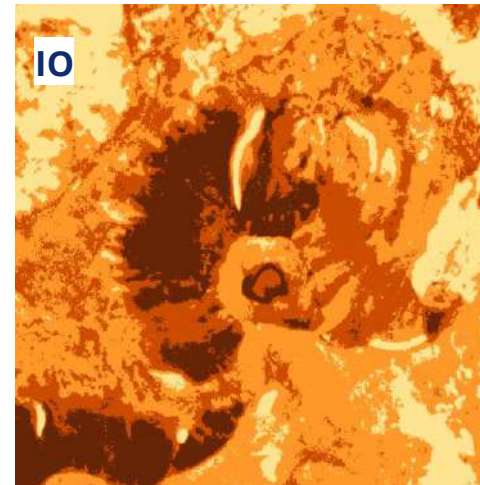
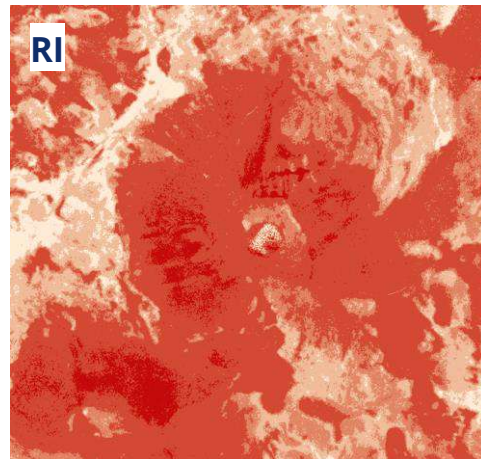
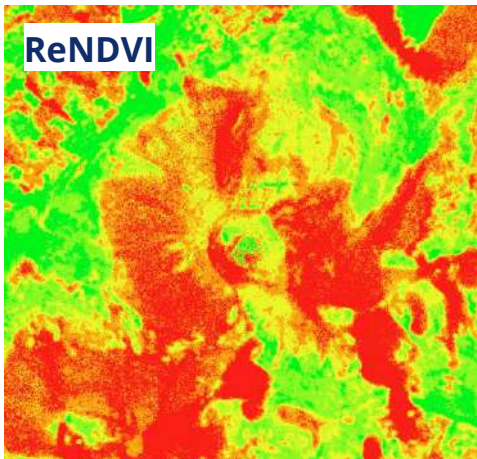
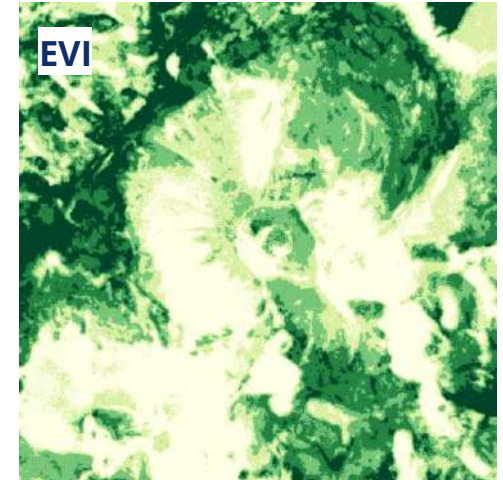
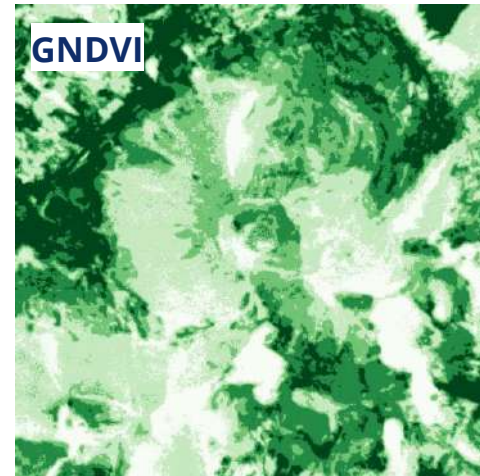
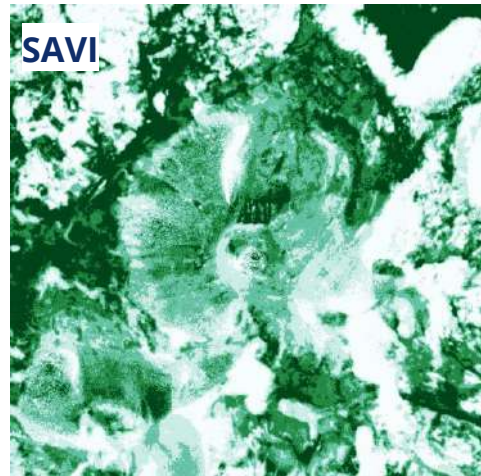
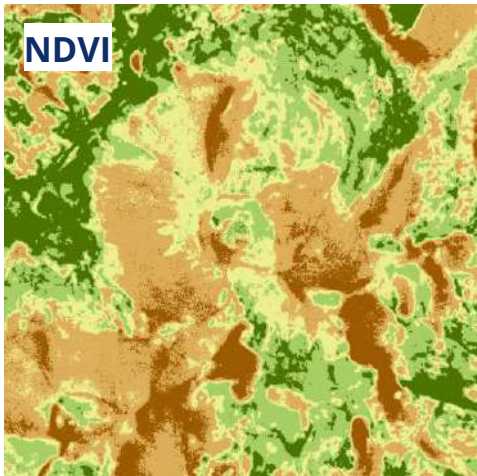


## PlanetScope — Аждаак



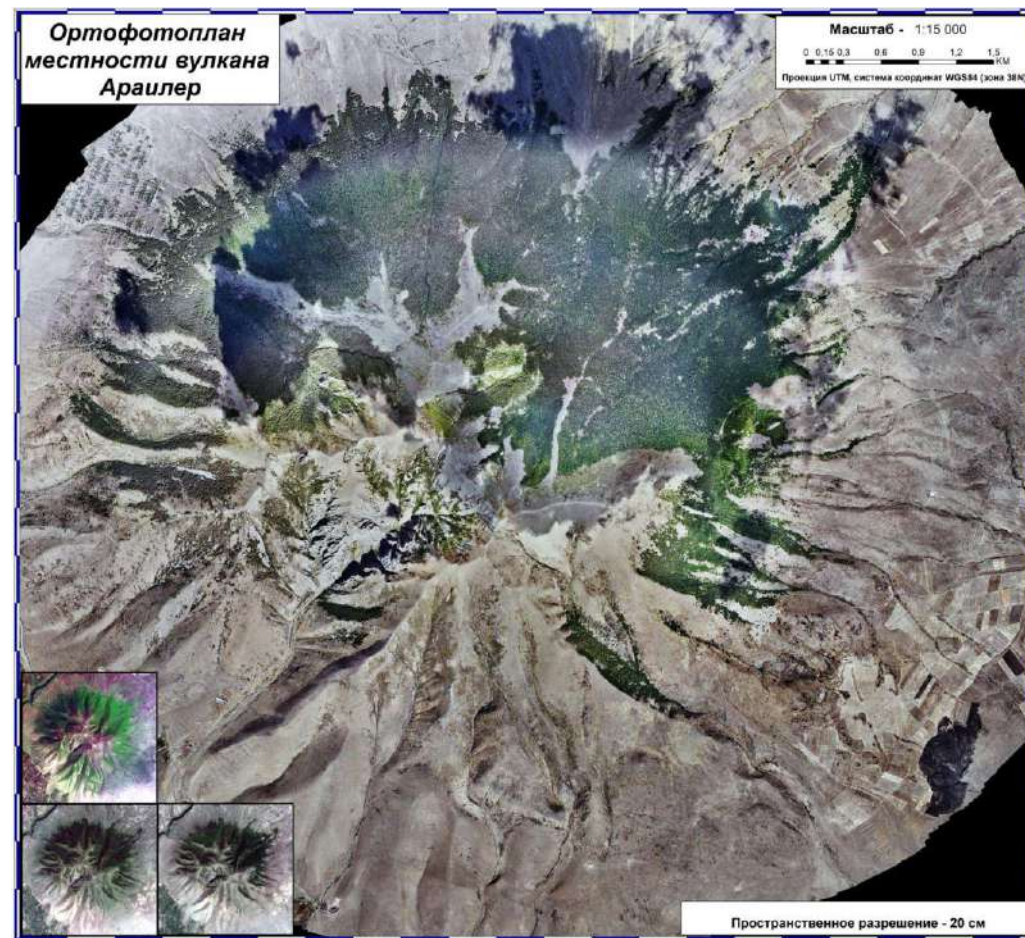
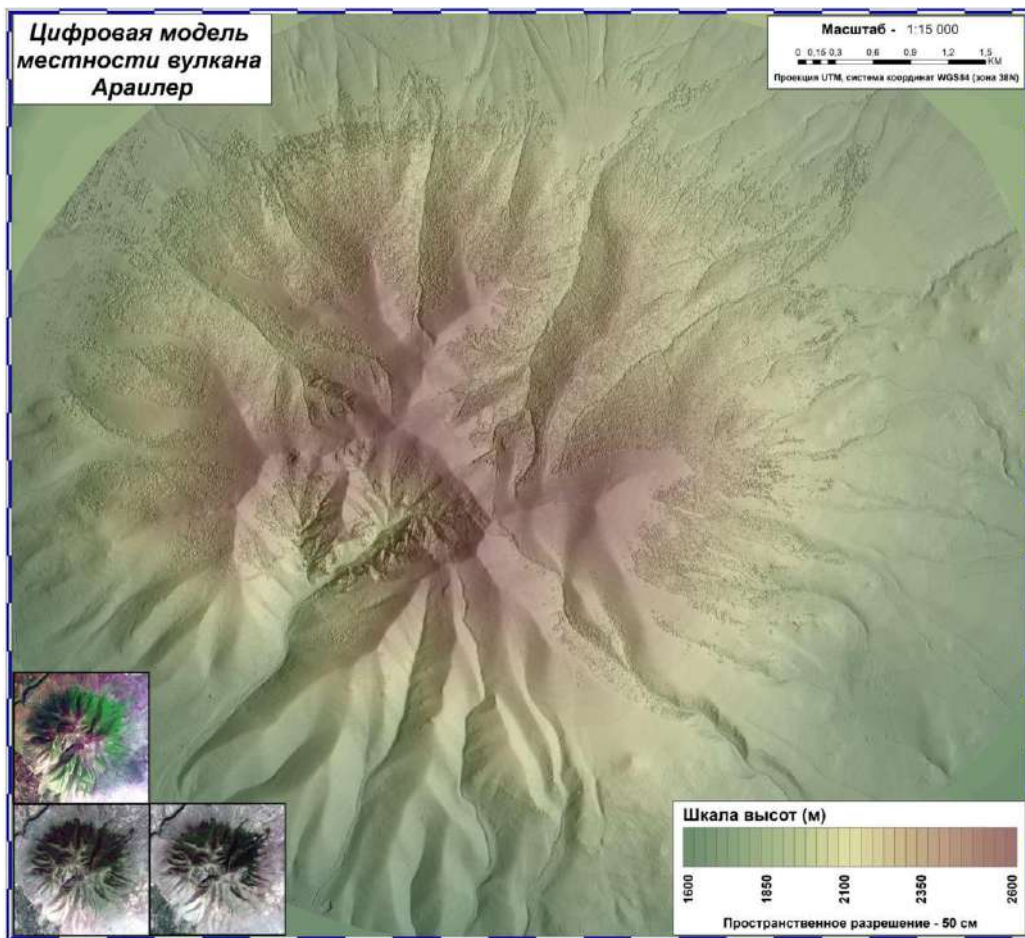


## PlanetScope — Аждаак — 240829

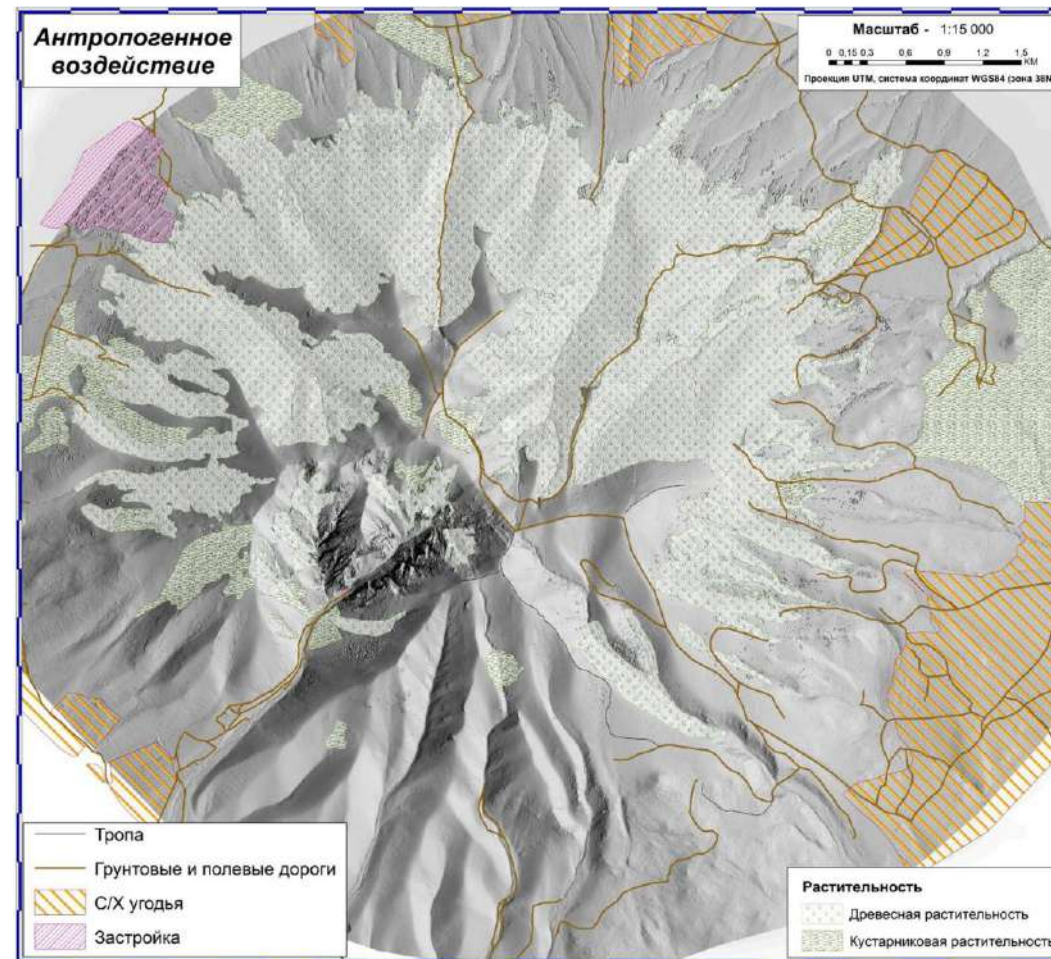
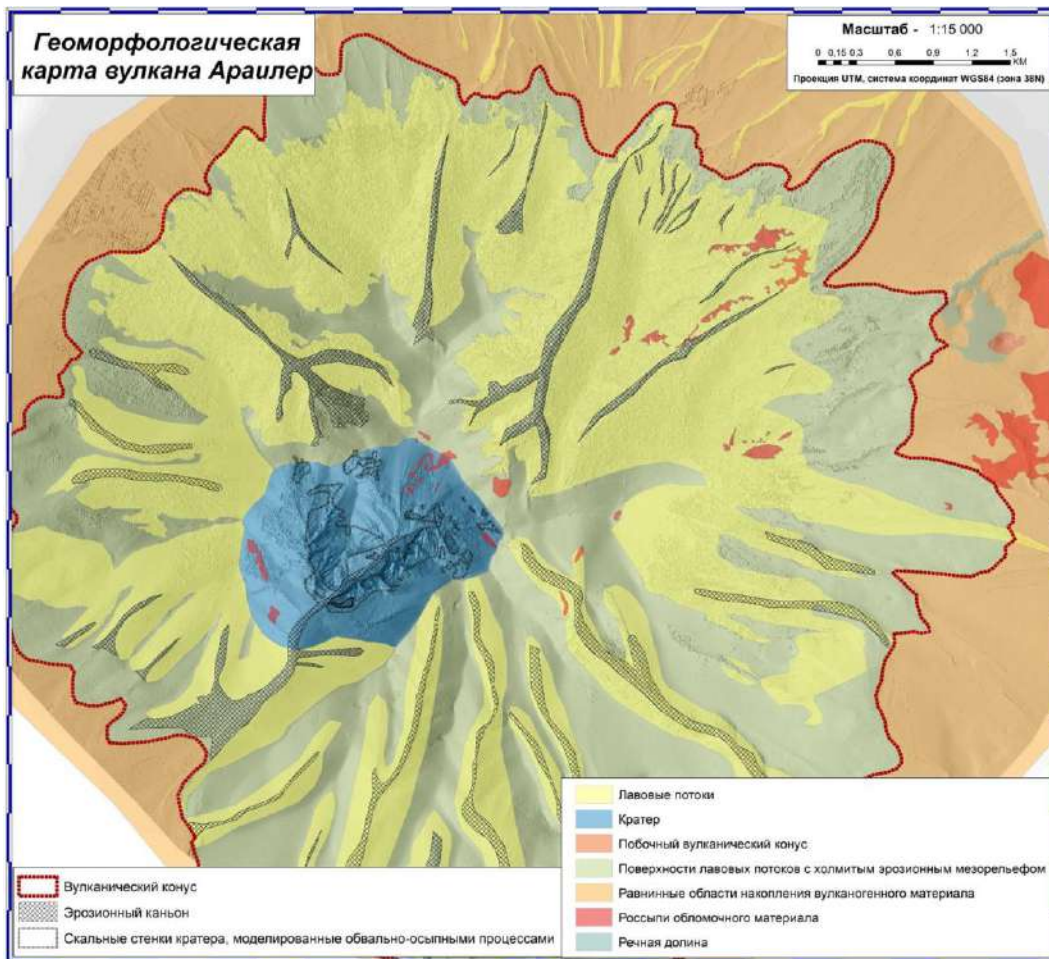




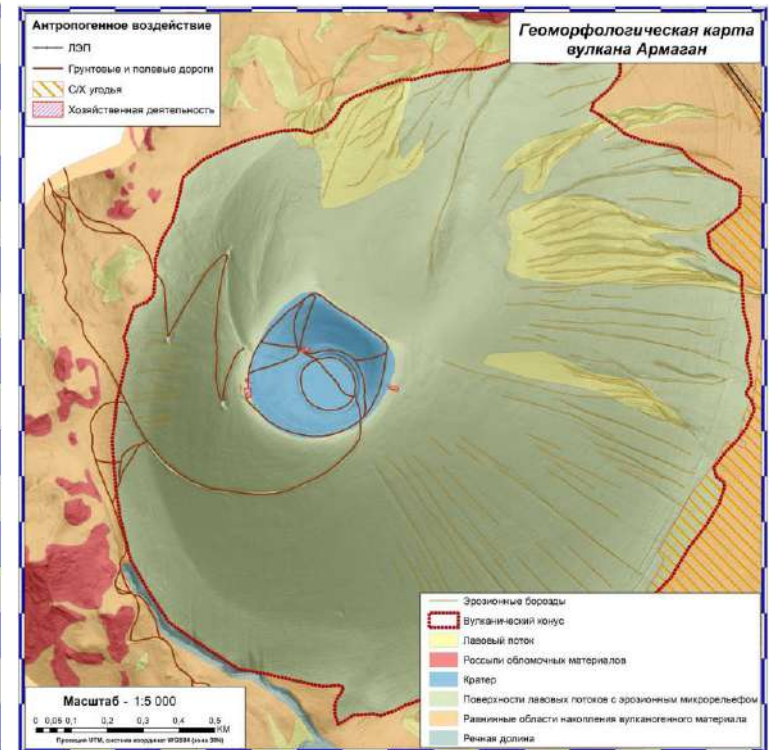
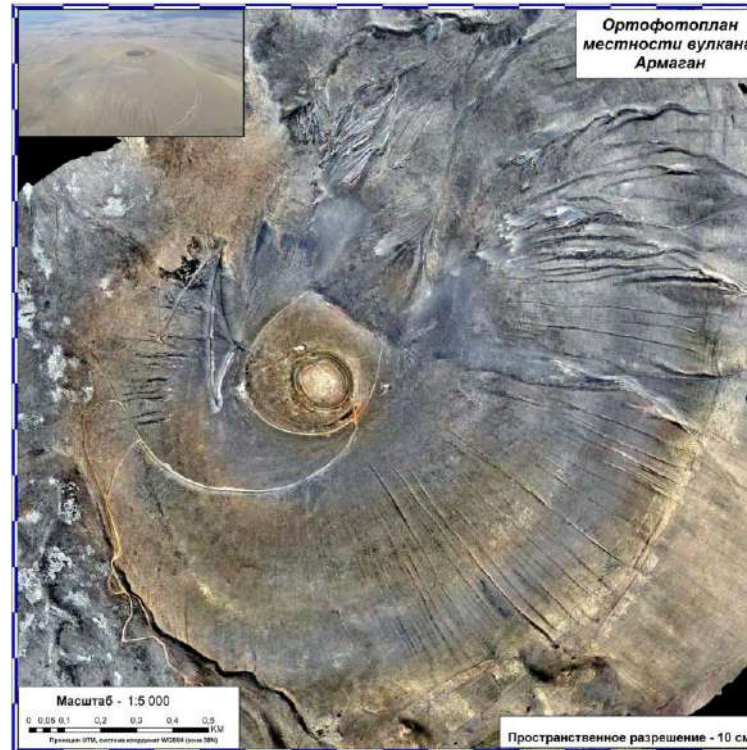
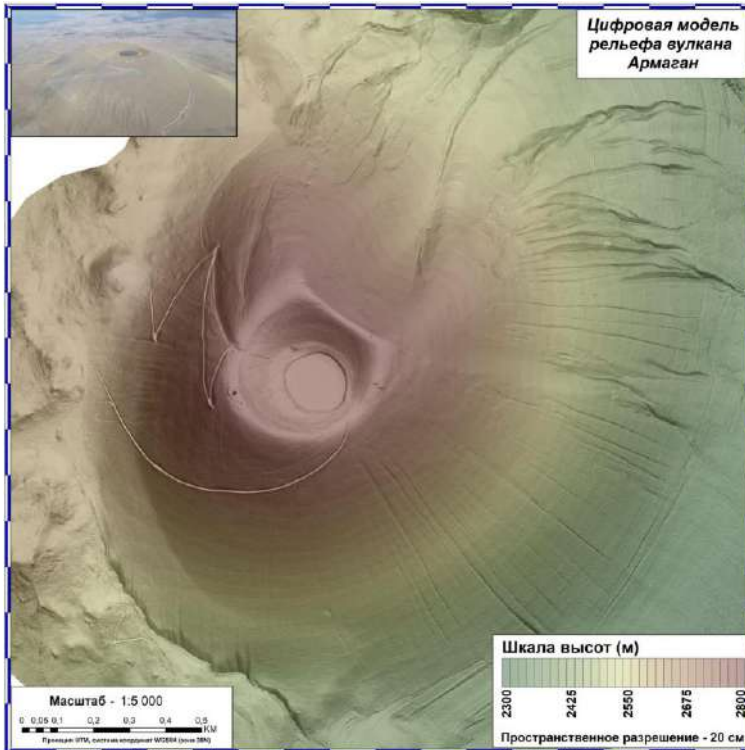
## Результаты — Араилер



## Результаты — Араилер

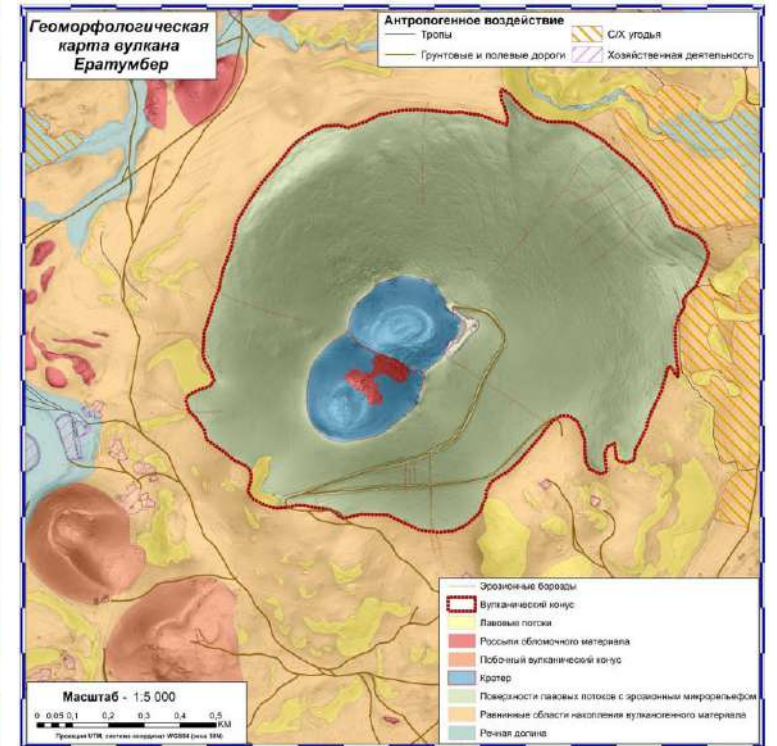
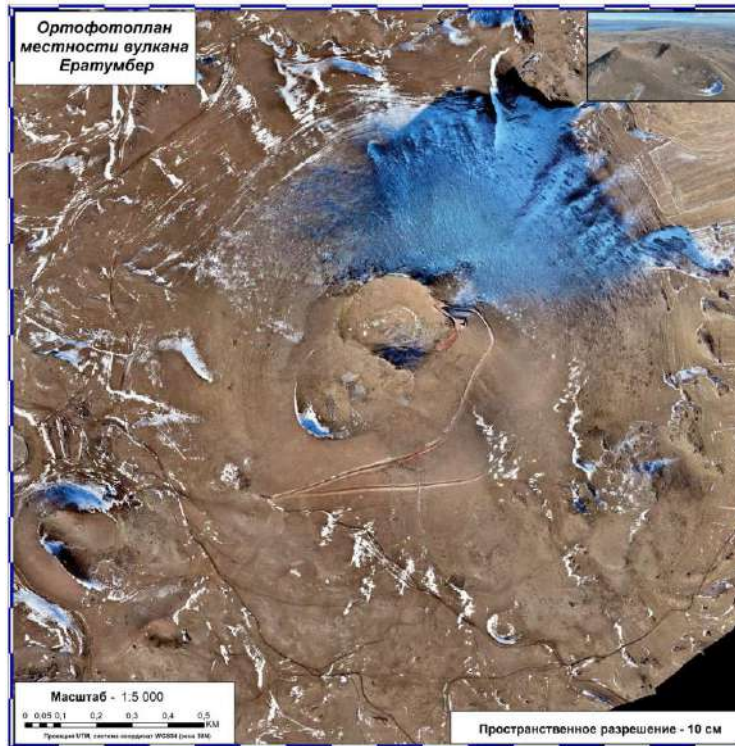
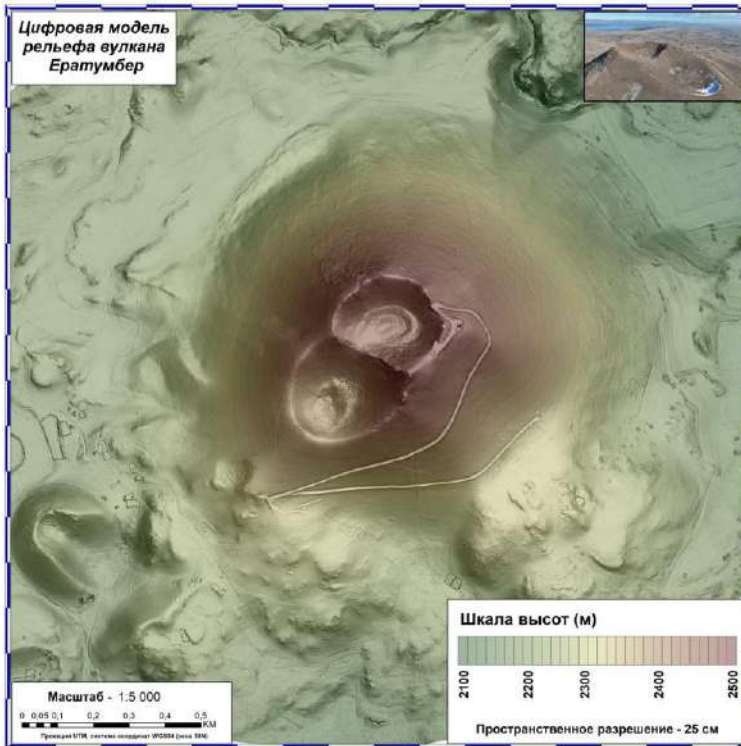


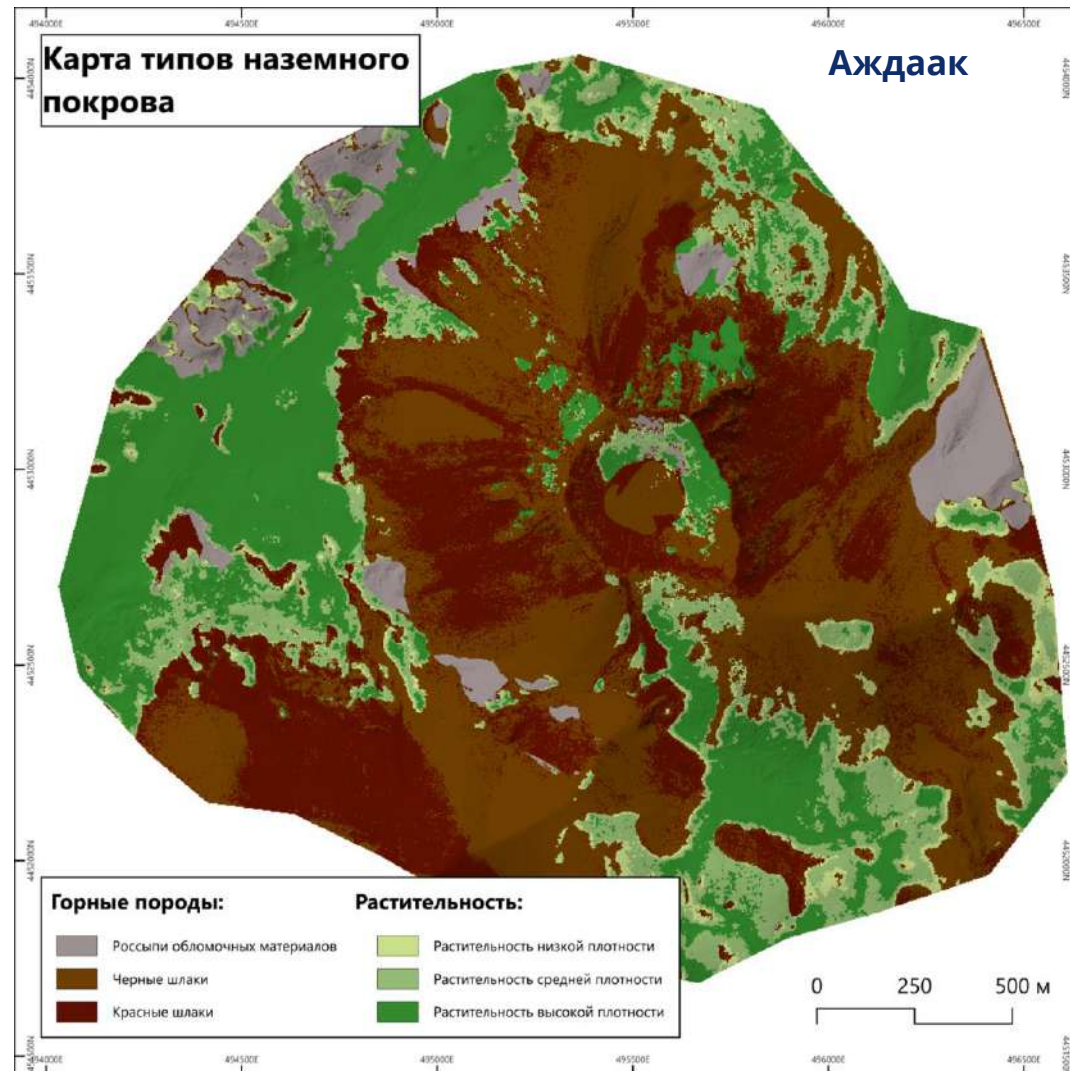
## Результаты — Армаган





## Результаты — Ератумбер







## Выводы

- Применение данных, полученных с БПЛА, позволяет проводить крупномасштабное картографирование и выделять элементы местности и рельефа, которые не могут быть детектированы на других типах данных. Сверхвысокое пространственное разрешение ортофотопланов и цифровых моделей рельефа позволяет выявлять грани рельефа, процессы эрозии и антропогенные преобразования;
- Крупномасштабное тематическое картографирование предоставляет возможность перейти на новый уровень изучения объектов и процессов, происходящих на них;
- Данные с космических снимков и БПЛА взаимодополняют друг друга. Снимки, полученные с БПЛА, обладают более детальным разрешением, но имеют ограниченное количество индексных изображений. Космические снимки, такие как данные Sentinel, обеспечивают доступ к широкому спектру диапазонов, включая SWIR и другие;
- Важно проводить сравнение данных между собой для выделения ключевых объектов по определенным спектральным индексам.
- При выборе спектральных изображений для картографирования следует учитывать влияние времени года, что может значительно повлиять на результаты анализа.

Вид на в. Аждаак



Армаган





Факультет географии и  
геоинформационных технологий

Москва  
2024

# **Крупномасштабное тематическое картографирование вулканических куполов на основе данных сверхвысокого разрешения**

Пономарева Анастасия Игоревна, НИУ ВШЭ

Медведев Андрей Александрович, кандидат географических наук, заведующий отделом картографии и дистанционного зондирования Земли Института географии РАН