

**Мониторинг кратерной зоны Авачинского вулкана по данным ГНСС-наблюдений и беспилотной аэрофотосъемки в 2020-2025 гг.**

*Миронов И.К., Магуськин К.М., Магуськин В.М.*

**Monitoring of the Avachinsky Volcano crater zone using GNSS observations and unmanned aerial photography in 2020-2025**

*Mironov I.K., Maguskin K.M., Maguskin V.M.*

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;*

*e-mail: taliks123@mail.ru*

Представлены результаты мониторинга кратерной зоны Авачинского вулкана. По результатам ГНСС-наблюдений показаны горизонтальные смещения пунктов в южном и юго-западном направлениях, также отмечено опускание всех пунктов сети, что подтверждается данными с БВС. Скорости горизонтальных и вертикальных движений увеличились в период 2024-2025 гг.

В октябре-декабре 2019 г. произошла активизация слабых сейсмических событий под конусом и в радиусе 8 км от Авачинского вулкана [1, 2]. Сейсмическая активизация закончилась слабым вулканическим дрожанием. В связи с этими событиями, в 2020 г. были заложены 3 пункта на Авачинском вулкане для более детального мониторинга вершинной части вулкана, в дополнение к уже имеющимся 11 пунктам ГНСС-наблюдений Петропавловск-Авачинского геодинамического полигона. В 2024 г. сеть наблюдений на вершине увеличилась еще на 2 пункта (рис. 1).

Пункт AVC1 расположен в северной части кратера, AVC3 находится в районе восточной группы fumarol, севернее трещины, AVC4 – в центральной части кратера, южнее трещины. AVC5 и AVC6 находятся южнее и севернее трещины, возле западной группы fumarol.

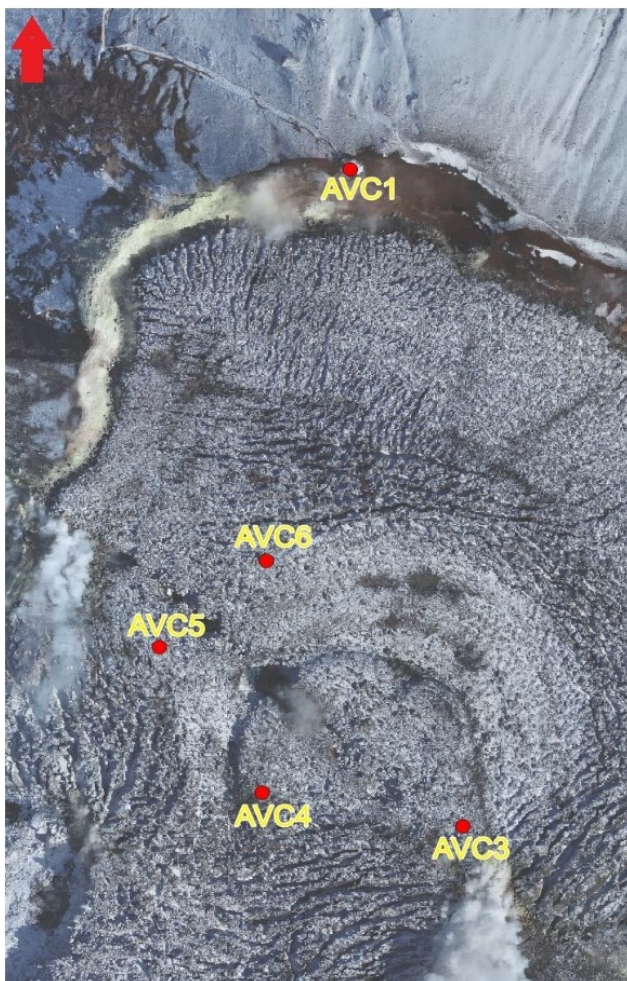


Рис. 1. Сеть ГНСС-наблюдений на вершине Авачинского вулкана

### ГНСС-измерения, фотограмметрия и постобработка

В наблюдениях использовались двухчастотные ГНСС приемники Leica GR10, PRIN P5U, 4GNSS OC-113 с антеннами Javad GrAnt G3T, PRIN i50. Измерения проводились в августе-сентябре в режиме «быстрая статика», с 1-секундной дискретизацией и маской возвышения спутников от 10 градусов. Продолжительность эпох измерений составляет 1-7 часов.

Обработка данных осуществлялась в программном продукте Leica Infinity с использованием финальных эфемерид службы International GNSS Service (IGS), вычислением ионосферной задержки по двухчастотным наблюдениям и тропосферной задержки по модели VMF. Также в обработку включались постоянно-действующие пункты AVCH и PETR с фиксированными координатами на август 2020 г.

Результатом обработки являются осредненные за период наблюдения координаты пунктов, в системе координат WGS84, определенные со средней квадратической ошибкой (СКО) в плане 8-10 мм и по высоте 15-20 мм.

Также с 2023 г., одновременно с ГНСС-измерениями на пунктах, проводится аэрофотосъемка с целью построения ортофотоплана и цифровой модели местности (ЦММ) вершинной части Авачинского вулкана. Данный вид работ выполняется с помощью беспилотного воздушного судна (БВС) DJI Phantom 4 Pro v2 с геодезическим ГНСС-приемником на борту. В 2023-2025 гг. выполнялась аэрофотосъемка лавовой пробки (около 300 снимков с высоты 80 м), дальнейшая фотограмметрическая обработка производилась в ПО Agisoft Metashape. В результате получены ортофотопланы и цифровые модели рельефа (ЦМР) вершинной части Авачинского вулкана с разрешением 2 см/пиксель.

### Интерпретация полученных результатов

Эволюция движений пунктов представлена в виде последовательности кадров на рис. 2 для горизонтальных смещений и рис. 3 для вертикальных. Представленные кадры показывают величину смещений с августа 2020 г. по август 2025 г.

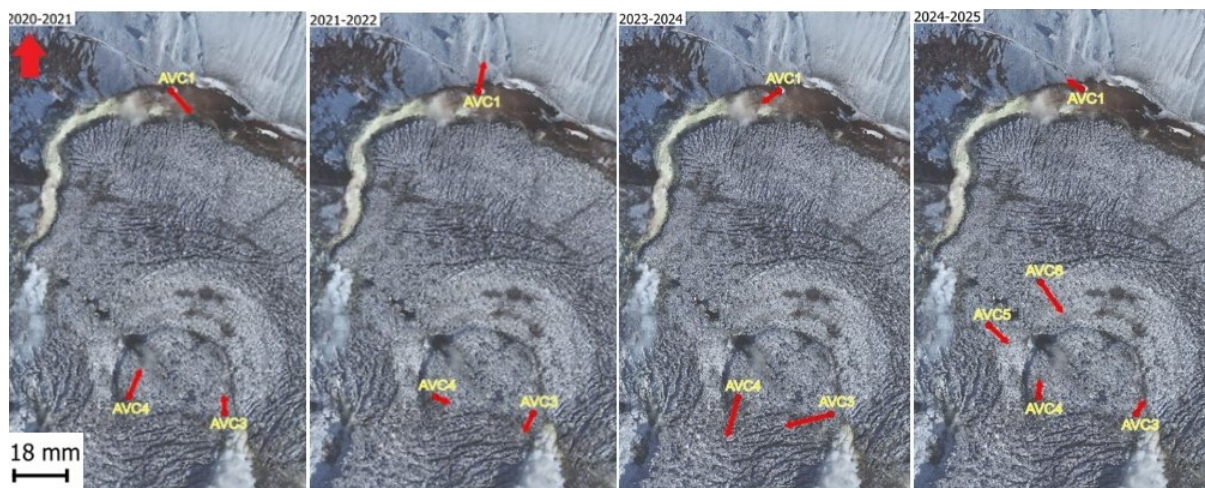


Рис. 2. Векторы горизонтальных смещений пунктов с 2020 по 2025 гг.

За время наблюдений, пункт AVC1, расположенный в северной части кратера, хаотично смещался со скоростью около 2 см/год, что близко к СКО его планового положения. В период 2022-2024 гг. пункты AVC3 и AVC4 смещались в южном и юго-западном направлении со скоростью 3 см/год. В 2024-2025 гг. пункты AVC5 и AVC6 двигались в юго-восточном направлении со скоростью 4 см/год.

Вертикальные смещения пунктов представлены в виде последовательности кадров на рис. 3.

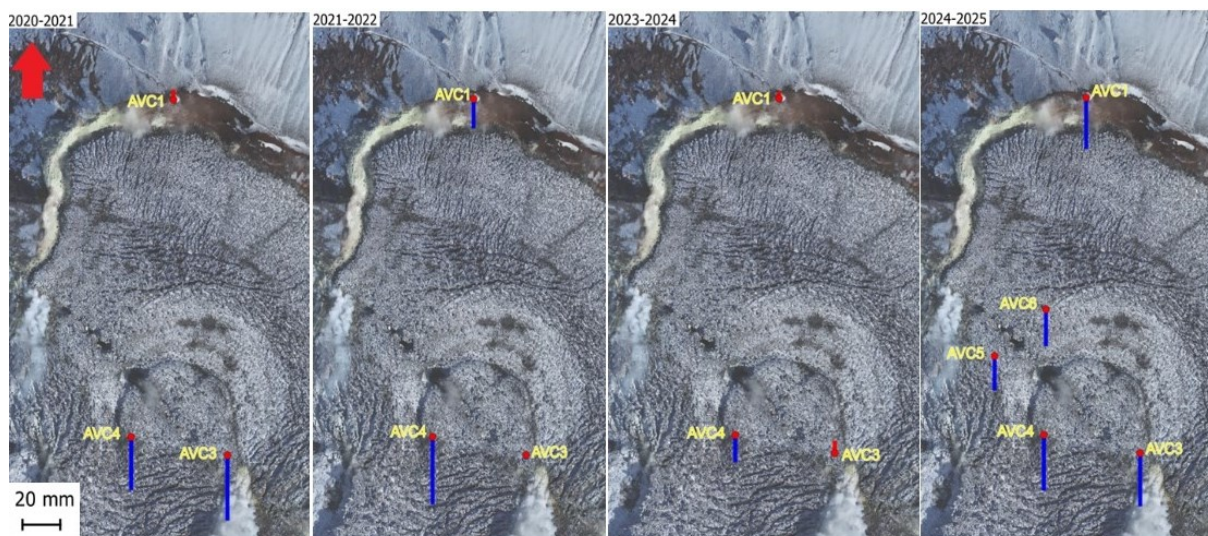


Рис. 3. Вертикальные смещения пунктов с 2020 по 2025 гг.

В районе кратера Авачинского вулкана в период наблюдений происходило неравномерное опускание на всех пунктах сети. С 2020 г. по 2024 г. максимум опусканий был на пункте AVC4 в 2022 г. и составлял 3.5 см. В 2024-2025 гг. все пункты опускались со скоростями до 3-5 см/год.

На рис. 4 показаны вертикальные смещения кратерной зоны Авачинского вулкана по фотограмметрическим данным.

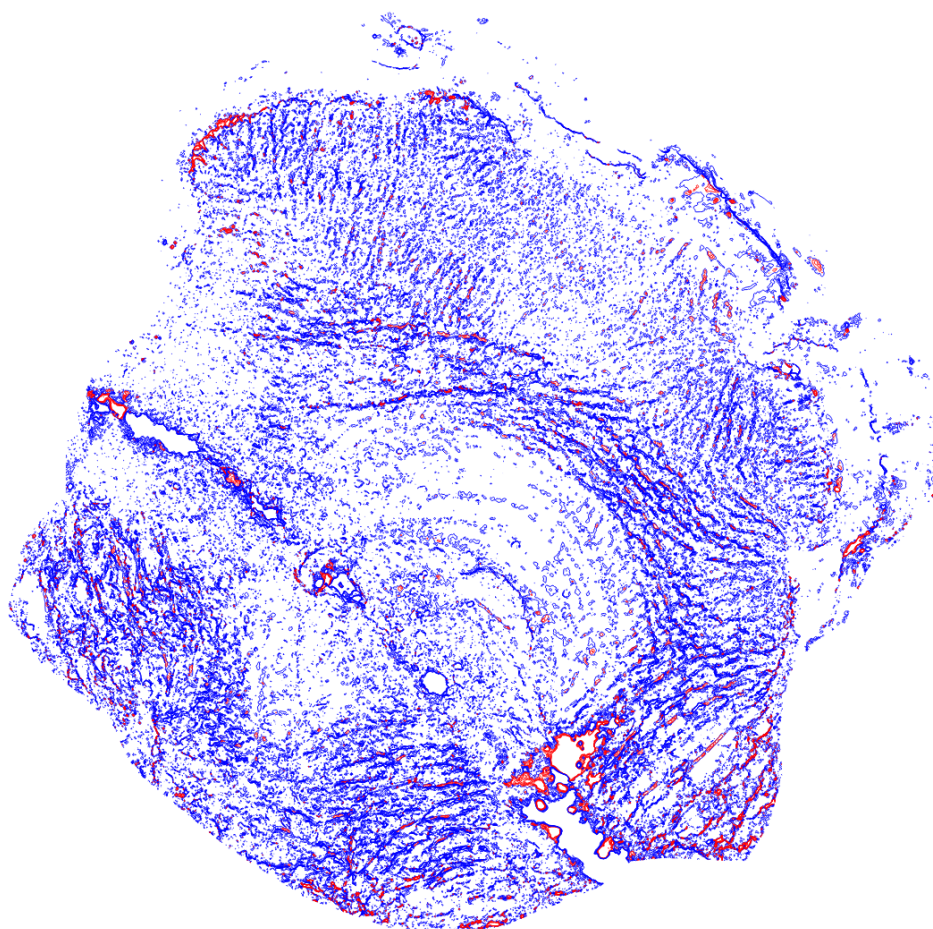


Рис. 4. Вертикальные смещения кратерной зоны Авачинского вулкана в период с 2024 по 2025 гг. Синим цветом показаны опускания, красным цветом – поднятия.

По результатам фотограмметрических работ также подтверждается опускание кратерной зоны Авачинского вулкана. Максимальные значения опусканий находятся в зоне трещин на лавовой пробке, около восточной группы fumarol, и в южной части кратера, значения опусканий составляют до 8 см/год. Небольшие участки поднятий связаны с ранним снежным покровом на лавовой пробке в 2025 г. и его отсутствием в 2024 г.

### **Заключение**

По результатам мониторинга кратерной зоны Авачинского вулкана можно сделать следующие выводы. С 2020 по 2025 гг. наблюдались горизонтальные смещения ГНСС-пунктов сети в южном и юго-восточном направлении. Скорости таких смещений составляли до 4 см/год. Также отмечается опускание всех пунктов сети в указанный период. Скорости опусканий достигли 5 см/год в период 2024-2025 гг. Эти опускания также подтверждаются результатами фотограмметрических работ в 2024-2025 гг.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВиС ДВО РАН, тема FWME-2024-0010.

### **Список литературы**

1. *Сенюков С.Л., Нуждина И.Н., Дроздина С.Я. и др.* Сейсмичность вулкана Авачинский в 1994-2020 гг. // Проблемы комплексного геофизического мониторинга сейсмоактивных регионов. Труды Восьмой Всероссийской научно-технической конференции с международным участием 26 сентября – 2 октября 2021 г. Петропавловск-Камчатский, 2021. С. 221-227.
2. *Фирстов П.П., Шакирова А.А., Максимов А.П., Черных Е.В.* Особенности сейсмической активизации Авачинского вулкана в конце 2019 г. // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2021. Т. 497. № 2. С. 165-170.