

Современные движения и деформации земной коры в окрестности Авачинского вулкана с 2015 по 2023 гг.

Миронов И.К.¹, Кафтан В.И.², Маневич А.И.^{2,3}, Шевчук Р.В.², Магуськин В.М.¹

Recent movements and deformations of the earth's crust in the region of Avacha volcano from 2015 to 2023

Mironov I.K., Kaftan V.I., Manevich A.I., Shevchuk R.V., Maguskin V.M.

¹ Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;

e-mail: taliks123@mail.ru

² Геофизический Центр РАН, г. Москва

³ Университет науки и технологий МИСИС, г. Москва

Представлены результаты исследований современных движений земной коры в районе работ. В южной части сети происходит накопление деформации сжатия. Вблизи кратера вулкана накапливается деформация растяжения без значимого поднятия. Все изменения характеристик движений и деформаций земной коры имеют примерно двухлетнюю цикличность.

Одним из важных компонентов комплексного мониторинга районов высокой сейсмической и вулканической активности являются геодезические геодинамические полигоны (ГДП). Настоящее исследование посвящено анализу современных ГНСС-наблюдений в области Авачинского вулкана и г. Петропавловск-Камчатский на протяжении около десяти последних лет.

ГНСС-измерения и постобработка

В настоящее время в данном районе функционирует обширная сеть ГНСС-наблюдений Петропавловск-Авачинского ГДП (рис. 1). Она охватывает территорию г. Петропавловск-Камчатский и юго-западный склон Авачинского вулкана.

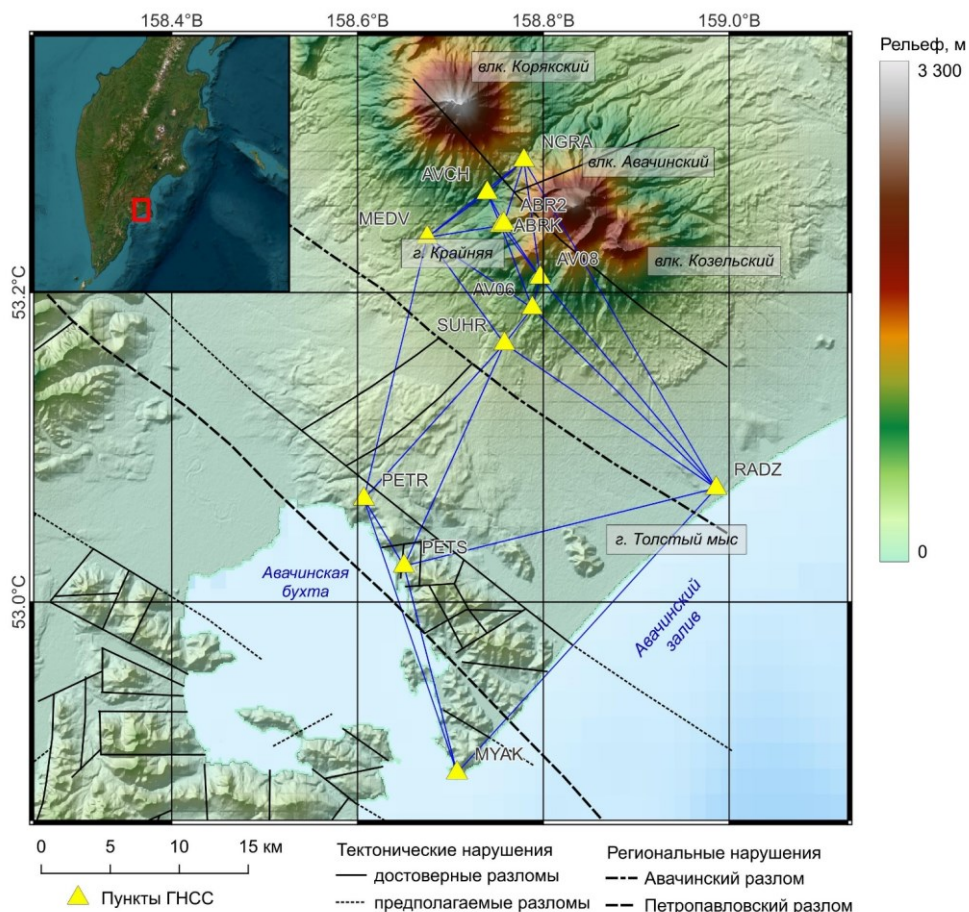


Рис. 1. Район исследований, сеть ГНСС и разломная тектоника.

Наблюдательная сеть ГДП состоит из 11 пунктов (рис. 1). Пункты PETR, PETS, MYAK и RADZ относятся к сети KAMNET Камчатского филиала Федерального исследовательского центра «Единой геофизической службы РАН» (КФ ФИЦ ЕГС РАН) и располагаются в районе г. Петропавловск-Камчатский. Остальные пункты расположены на западном и южном склонах Авачинского вулкана.

Геодезические пункты заложены на отдельно стоящих железобетонных пилонах, обеспечивающих надежность установки ГНСС-антенн и приемников. На постоянно действующих пунктах также применяется система принудительного центрирования для более точного закрепления положения антенны на пункте.

В наблюдениях используются двухчастотные геодезические ГНСС приемники Leica Geosystems GR10 с антеннами AR10 и AR25. Станции AVCH, PETR, PETS, MYAK и RADZ являются постоянно-действующими пунктами, на остальных пунктах измерения проводятся 2 раза в год, в марте и в сентябре, в режиме «статика» с 30-секундной дискретизацией и маской возвышения спутников от 5° . Продолжительность эпох измерений составляет не менее 2 суток. Для уменьшения ошибок положения фазовых центров антенн в каждом цикле наблюдений на каждом пункте использованы одинаковые комплекты оборудования.

Обработка данных осуществлялась с использованием программного обеспечения GAMIT/GLOBK. Результатом обработки являются осредненные за период наблюдения координаты пунктов, определенные со средней квадратической ошибкой (СКО) в плане 3-4 мм и по высоте 8-10 мм.

Определение движений и деформаций земной коры

Основой вычислений векторов смещений и деформаций земной коры явились временные ряды прямоугольных пространственных координат, полученных из постобработки циклов ГНСС-измерений в отсчетной основе ITRF14. Эти координаты преобразовывались в плановые координаты e и n проекции UTM и геодезические высоты H .

Для удобства последующей интерпретации нерегулярные временные ряды координат преобразовывали в регулярную форму путем интерполяции сплайнами Эрмита. Вычислялись и анализировались так называемые «внутренние» смещения земной поверхности [1]. По изменениям плановых координат u_n и u_e (оси n и e направлены на север и восток) нами вычислялись компоненты тензора горизонтальной деформации. В итоге анализировались деформации дилатации и полного сдвига.

Выбор именно этих типов деформации обусловлен характерным поведением земной коры вблизи активных вулканов, где напряжения в глубинном вулканическом очаге явно выражаются в деформациях растяжения/сжатия на поверхности [2]. Компоненты деформаций вычислялись согласно методу, описанному в [4]. Значения деформаций вычислялись по значениям смещений пунктов треугольников Делоне (рис. 1). Ввиду существенной неравновеликости треугольников, значения дилатации приводились к средней площади равностороннего треугольника сети P_m со стороны, равной средней стороне всех треугольников сети.

Интерпретация полученных результатов

Эволюция дилатации земной коры представлена в виде последовательности кадров на рис. 2. Представлены карты накопленной дилатации с начала 2017 г. по конец 2023 г. Результаты определений движений и деформаций с 2015 по 2016 гг. на последующих рисунках не показаны ввиду их малости на уровне ошибок измерений.

Ход деформации демонстрирует почти монотонный, значимый на уровне точности, рост деформации сжатия, образующей концентрический экстремум вокруг горы Толстый мыс. Замечаются пульсации эволюции сжатия с периодом примерно 2 года. При этом юго-западная сторона вулканической постройки испытывает

монотонное накопление растяжений до $3 \cdot 10^{-6}$. Региональное сжатие с выпиранием коры вверх можно рассматривать как геодезический предвестник сильных землетрясений зон субдукции.

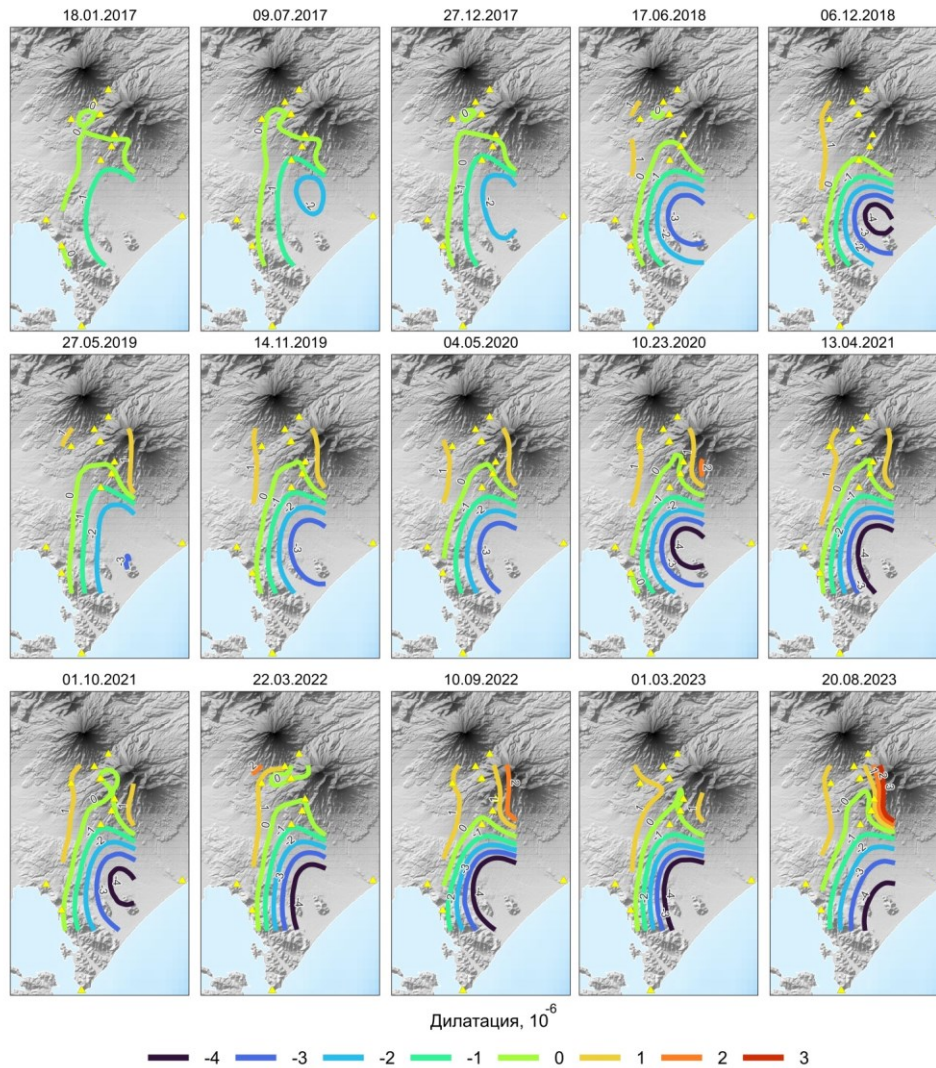


Рис. 2. Район исследований, сеть ГНСС и разломная тектоника.

Эволюция горизонтальных и вертикальных движений пунктов сети ГНСС представлена на рис. 3. Совокупность кадров рис. 3 демонстрирует примерно двухгодичную цикличность вертикальных движений, подобную цикличности деформации дилатации (рис. 2). При этом экстремум сжатия близок к экстремуму подъема земной коры в области положительных форм рельефа. Такое поведение можно объяснить горизонтальным давлением со стороны зоны субдукции, обуславливающим рост положительных морфоструктур. Также смена накопленного подъема резким опусканием в окрестности горы Толстый мыс демонстрирует косейсмическое движение в связи с землетрясением $M 6.5$ (03.04.2023 г.).

Как показывает исследование [3], деформации активных вулканических построек, полученные по данным классических геодезических наблюдений, а также современных измерительных средств ГНСС и InSAR, во время инфляции магматического очага и внедрения магмы в подводящий канал наблюдаются поднятия и растяжения вулканического конуса. По завершении извержений деформационный процесс протекает в обратном направлении. На рис. 2 (последний кадр) показано, что в области вершины регистрируется растяжение, не сопровождающееся подъемом (рис. 3), что не дает оснований предполагать внедрение магмы с глубин к поверхности.

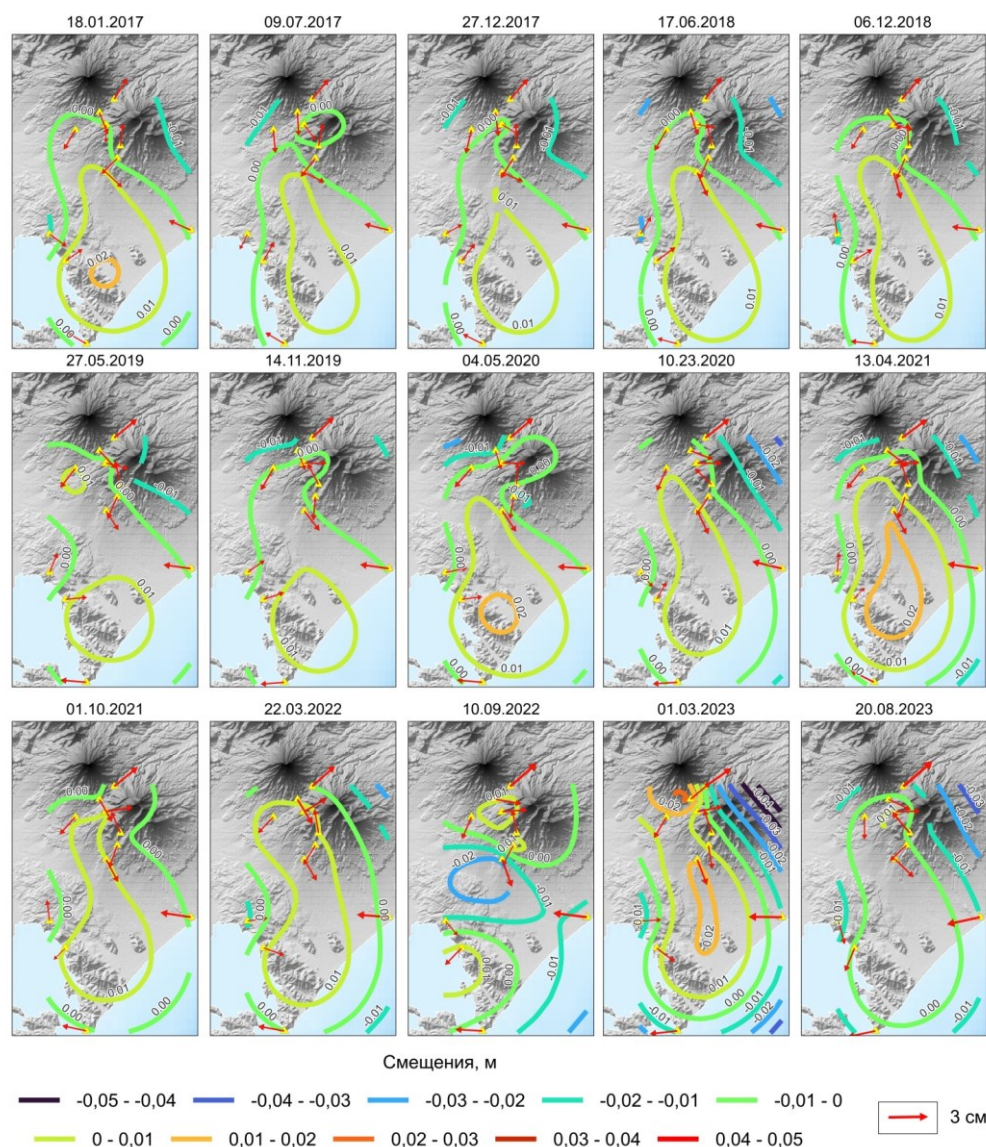


Рис. 3. Векторы горизонтальных и изолинии вертикальных накопленных с 2017 по 2023 гг. смещений земной коры.

Все характеристики движений и деформаций земной коры продемонстрировали примерно двухлетнюю цикличность. Об устойчивости этого явления можно будет говорить по мере дальнейшего накопления наблюдений. Также отмечается необходимость расширения сети ГНСС-наблюдений на северный склон и подошву Авачинского вулкана для более детального геодезического мониторинга его состояния.

Список литературы

1. Гвишиани А.Д., Татаринов В.Н., Кафтан В.И. и др. Геодинамическая модель северной части Нижнеканского массива: разломная тектоника, деформации, изоляционные свойства пород // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2022. Т. 507. № 1. С. 67-74.
2. Кафтан В.И., Родкин М.В. Деформации района вулкана Этны по данным GPS измерений, интерпретация, связь с режимом вулканизма // Вулканология и сейсмология. 2019. № 1. С. 14-24.
3. Михайлов В.О., Волкова М.С., Тимошкина Е.П. и др. О связи активизации вулкана Корякский в 2008-2009 гг. с глубинными магматическими процессами // Физика Земли. 2021. № 6. С. 3-9.
4. Wu J.C., Tang H.W., Chen Y.Q. et al. The current strain distribution in the North China Basin of eastern China by least-squares collocation // Journal of Geodynamics. 2006. V. 41. P. 462-470.