Современные движения и деформации земной поверхности в районе вулкана Плоский Толбачик в 2015-2024 гг.

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

Recent movements and deformations of the earth's crust in the area of the Plosky Tolbachik volcano in 2015-2024

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

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский; e-mail: taliks123@mail.ru

Приводится анализ современных движений и деформаций земной коры в районе вулкана Плоский Толбачик с 2015 по 2024 гг. по данным ГНСС-наблюдений. Показан план работ и методика обработки результатов измерений. В результате представлены карты горизонтальных и вертикальных смещений, а также деформации дилатации за 2015-2024 гг.

Вулкан Плоский Толбачик относится к Ключевской группе вулканов и является действующим вулканом этой группы. Он отличается от других, в том числе, тем, что от его центрального кратера в юго-западном направлении протянулась на десятки километров зона шлаковых конусов, образованных в ходе последовательных трещинных извержений. Причины и механизм их образования объяснены в книге [4], которая полностью посвящена всестороннему изучению Большого трещинного Толбачинского извержения 1975-1976 гг. (БТТИ 1975-1976 гг.), в том числе слежению за деформациями земной поверхности во время этого события.

Ход деформаций, последовавших после окончания БТТИ 1975-1976 гг., за период 1978-2000 гг., рассмотрен в работе [2], а за период 2000-2011 гг. – в работе [3]. В книге [1] представлены результаты комплексных исследований Толбачинского трещинного извержения 2012-2013 гг. (ТТИ-50), проведена оценка деформационных процессов по данным ГНСС за период извержения.

Толбачинский геодинамический полигон, ГНСС-измерения и постобработка, определение движений и деформаций земной коры

В настоящее время в рассматриваемом районе функционирует сеть ГНССнаблюдений Толбачинского геодинамического полигона (ГДП). Она охватывает южный склон вулкана Плоский Толбачик и территории извержений БТТИ (1975-1976 гг.) и ТТИ-50 (2012-2013 гг.). Наблюдательная сеть ГДП состоит из 9 пунктов (рис. 1).

Все пункты расположены на южном склоне вулкана Плоский Толбачик, большая часть из них – на вершинах старых шлаковых конусов.

В наблюдениях использовались двухчастотные геодезические ГНСС приемники Leica Geosystems GR10 с антеннами AR10 и AR25, также в 2024 г. на пункте NVLV применялся ГНСС приемник PrinCE i50. Измерения проводились 1 раз в год в июлеавгусте, 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. В качестве опорных пунктов использовались постояннодействующие пункты ГНСС-наблюдений сети КАМNET КФ ФИЦ ЕГС РАН, находящиеся в районе Ключевской группы вулканов.

При этом использовались финальные эфемериды спутников, представленные Международной службой ГНСС (International GNSS Service – IGS), параметры вращения земли Международной службы вращения Земли и систем отсчета (International Earth Rotation and Reference Systems Service – IERS), для учета

ионосферной задержки применялась модель IONEX, а тропосферная поправка рассчитывалась по модели VMF.



Рис. 1. Район исследований, сеть ГНСС. Звездой отмечен район северного и южного центров извержения ТТИ-50.

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.

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 *е* и *n* проекции UTM и геодезические высоты *H*. Значения деформаций вычислялись по значениям смещений пунктов треугольников Делоне.

По изменениям плановых координат вычислялись компоненты тензора горизонтальной деформации согласно методу [5]. В итоге анализировалась деформация дилатации.

Интерпретация полученных результатов

Эволюция дилатации земной коры представлена в виде последовательности кадров на рис. 2. Представлены карты накопленной дилатации с 2015 по 2024 гг., в период 2019-2023 гг. измерения не проводились.

Материалы XXVIII конференции, посвященной Дню вулканолога. 24-29 марта 2025 г. ИВиС ДВО РАН



Рис. 2. Изменения дилатаций с 2015 по 2024 гг. Значения даны в ед. 10⁻⁶, точность определения значений составляет ~10⁻⁷.

Деформация дилатации в южной части сети практически отсутствует. Экстремумы сжатия и растяжения находятся в районе пунктов NVLV и TB20. Эти пункты расположены рядом с северным (NVLV) и южным (TB20) центрами извержения TTИ-50. В областях к западу от этих пунктов происходит сжатие до $30\cdot10^{-6}$, а к востоку – растяжения до $20\cdot10^{-6}$ к 2024 г.

Эволюция горизонтальных и вертикальных движений пунктов сети ГНСС представлена на рис. 3.



Рис. 3. Векторы горизонтальных и изолинии вертикальных накопленных с 2015 по 2024 гг. смещений земной коры. Значения даны в мм.

Горизонтальные движения также связаны с пунктами NVLV и TB20, которые смещаются в южном и западном направлениях, соответственно. На всей области Толбачинского ГДП происходит опускание с максимальными значениями в районе северного центра извержения ТТИ-50.

Заключение

В результате исследования движений и деформаций по данным ГНССнаблюдений в районе вулкана Плоский Толбачик можно сделать следующие основные выводы. С 2015 по 2024 гг. на изучаемой территории накоплены смещения и деформации, продемонстрировавшие особенности локальной геодинамики района.

Горизонтальные движения, в основном, связаны с северной частью сети. Вертикальным смещениям подвержена вся территория Толбачинского ГДП с максимумом опускания в районе северного центра извержения 2012-2013 гг.

Деформации дилатации также связаны с центрами ТТИ-50, в областях к западу от центров извержения наблюдается сжатие, к востоку – растяжение.

Список литературы

- 1. *Гордеев Е.И., Добрецов Н.Л.* Толбачинское трещинное извержение 2012-2013 гг. (ТТИ-50). Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2017. 421 с.
- 2. *Магуськин М.А., Левин В.Е., Бахтиаров В.Ф.* Деформации земной поверхности в районе Большого трещинного Толбачинского извержения 1975-1976 гг. в период 1978-2000 гг. и их возможные причины // Вулканология и сейсмология. 2003. № 6. С. 55-61.
- 3. *Магуськин М.А., Титков Н.Н., Демянчук Ю.В.* О деформациях земной поверхности в районе Северного прорыва Большого трещинного Толбачинского извержения 1975-1976 гг. на Камчатке //Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2013. № 1. Вып. 21. С. 147-151.
- 4. *Федотов С.А.* Большое трещинное Толбачинское извержение, Камчатка, 1975-1976 гг. М: Наука, 1984. 637 с.
- 5. *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.