

УДК 550.83.04

Н.М. ШАПИРО, Е.И. ГОРДЕЕВ, И.Ф. АБКАДЫРОВ,  
И.Ю. КУЛАКОВ, А.В. ЯКОВЛЕВ

## Широкомасштабный полевой сейсмологический эксперимент для изучения Ключевской группы вулканов

*Широкомасштабный полевой сейсмологический эксперимент был проведен на Камчатке в 2015–2016 гг. международной научной группой в составе российских, французских и немецких ученых. В рамках этого эксперимента, главной целью которого является изучение глубинной структуры коры и верхней мантии в районе Ключевской группы вулканов, 83 автономных сейсмических станции были установлены сроком на 1 год. На настоящий момент все станции собраны и участники проекта приступили к анализу данных. Проект поддержан грантом 14-47-00002 Российского научного фонда и организован при сотрудничестве Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Камчатского филиала Геофизической службы РАН, Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирского государственного университета, Парижского Института физики Земли и Центра геофизических исследований в Потсдаме.*

*Ключевые слова:* Камчатка, Ключевская группа вулканов, сейсмическая станция, сейсмотомография.

**Large-scale field seismological experiment for studying Klyuchevskoy group of volcanoes.** N.M. SHAPIRO<sup>1,2</sup>, E.I. GORDEEV<sup>1</sup>, I.F. ABKADYROV<sup>1</sup>, I.Yu. KULAKOV<sup>3,4</sup>, A.V. YAKOVLEV<sup>3,4</sup> (<sup>1</sup>Institute of Volcanology and Seismology, FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky; <sup>2</sup>Institut de Physique du Globe de Paris, Paris Sorbonne Cité; <sup>3</sup>Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, SB RAS, Novosibirsk; <sup>4</sup>Novosibirsk State University).

*In 2015–2016 an international group of researchers from Russia, France and Germany conducted a large-scale field seismological experiment in Kamchatka. The experiment was focused on the study of the deep crust and upper mantle structure in the area of Klyuchevskoy Group of volcanoes. Within the frame work of the experiment the researchers installed 83 remote seismic stations for the period of one year. All the stations have been removed by now and researchers started data analysis. The Project was supported by 14-47-00002 grant from the Russian Science Foundation and assisted by the Institute of Volcanology and Seismology, FEB RAS, the Kamchatka Branch of Geophysical Survey RAS, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, SB RAS, the Novosibirsk State University, the Institute of Earth Physics of Paris, and the Potsdam Research Centre for Geosciences.*

*Key words:* Kamchatka, Klyuchevskoy group of volcanoes, seismic station, seismotomography.

Ключевская группа вулканов – это уникальный природный объект, не имеющий аналогов в мире. На территории размером не более 80 км собраны 13 вулканов, из которых три – чрезвычайно активные (рис. 1). Ключевской вулкан – самый высокий действующий вулкан Евразии, его высота 4750 м. По имеющимся геологическим данным эта гигантская вулканическая постройка выросла необычайно быстро: за последние 8 тыс. лет [1]. Лавы Ключевского вулкана имеют базальтовый или андезибазальтовый состав, и продукты

---

ШАПИРО Николай Михайлович – доктор философии (Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский; Институт физики Земли, Париж); \*ГОРДЕЕВ Евгений Ильич – доктор физико-математических наук, директор, АБКАДЫРОВ Ильяс Фаридович – научный сотрудник (Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский), КУЛАКОВ Иван Юрьевич – доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией, ЯКОВЛЕВ Андрей Владимирович – кандидат физико-математических наук, научный сотрудник (Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.Трофимука СО РАН, Новосибирск; Новосибирский государственный университет). \*E-mail: gordeev@kscnet.ru

извержения вытекают достаточно спокойно из центрального кратера или из побочных конусов, которых насчитывается около 80. Всего в 10 км от Ключевского вулкана расположен влк. Безымянный, лавы которого имеют более кислый состав с большим насыщением флюидами, что приводит к сильным взрывным извержениям, как в 1956 г., когда большая часть вулкана была разрушена. Следующий вулкан группы – Толбачик – характерен своими трещинными извержениями, в результате которых изливаются огромные объемы базальтовой лавы, растекающейся в виде раскаленных рек на десятки километров вокруг вулкана. Толбачик извергает жидкие базальтовые лавы каждые 30–40 лет. Последнее такое извержение произошло в 2012–2013 гг. Непосредственно к северу от Ключевской группы вулканов расположен другой камчатский гигант – Шивелуч, а к югу – еще один очень активный вулкан – Кизимен.

Разнообразие составов и режимов извержений вулканов Ключевской группы связано с чрезвычайно сложной системой магматических очагов в земной коре и мантии. Вулканизм на Камчатке вызван погружением Тихоокеанской плиты в зоне субдукции. Необычайно высокая концентрация активных вулканов в одном месте в районе Ключевской группы может быть связана с тем, что напротив этого места зона субдукции формирует резкий угол, отделяющий Алеутскую дугу от Камчатской, или с субдукцией Императорских подводных гор, являющихся окончанием гигантского вулканического хребта, образованного в Гавайской горячей точке.

Для проверки различных гипотез о происхождении и функционировании вулканов Ключевской группы необходимо иметь достоверные данные о глубинном строении коры и мантии. Ранее предпринимались попытки изучать сейсмические структуры под вулканами Ключевской группы на базе постоянных сейсмических станций. Предыдущие исследования с использованием данных со стандартной сейсмической сети в этом районе позволили получить строение среды до глубин около 40 км, что является нижней границей коры [2]. Установка плотной сети сейсмографов в совокупности с постоянными сейсмическими станциями на Ключевской группе вулканов позволит получить строение среды до 200 км, где, по общим представлениям, и возникает магматический расплав.

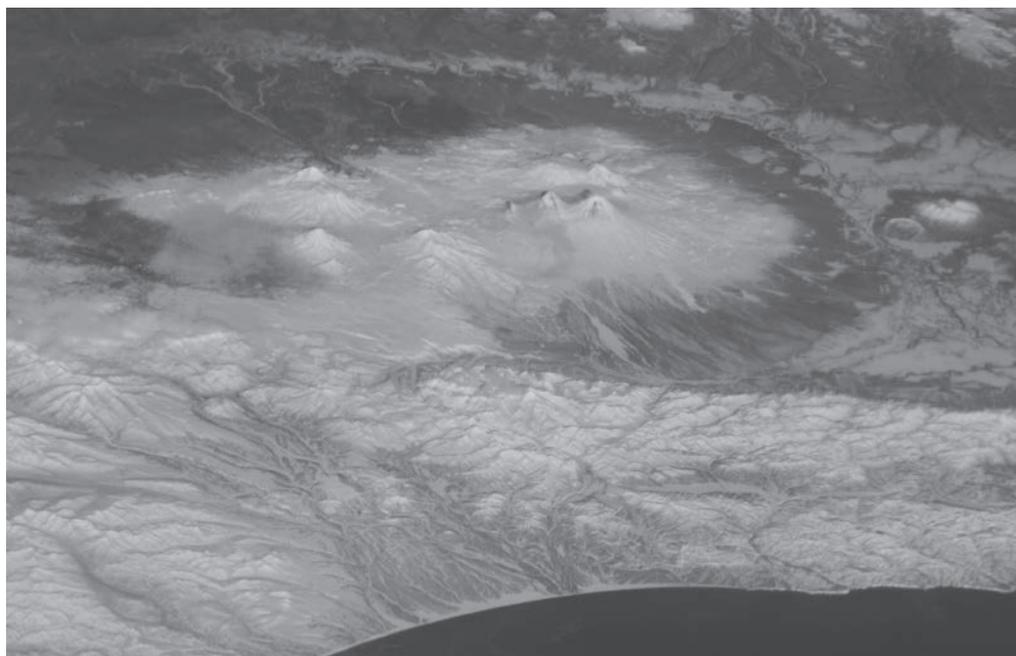


Рис. 1. Ключевская группа вулканов, снятая с Международной космической станции, вид с востока (Image ISS027-E-8239; <https://eol.jsc.nasa.gov>)



Рис. 2. Полевые работы по установке и сбору сейсмических станций в 2015 и 2016 гг.

Получение надежных томографических изображений всей Ключевской группы вулканов является основной целью проекта KISS (Klychevskoy Investigation – Seismic Structure of an Extraordinary Volcanic System). Этот проект был поддержан грантом 14-47-00002 Российского научного фонда и организован при сотрудничестве Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Камчатского филиала Геофизической службы РАН, Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирского государственного университета, Парижского института физики Земли и Центра геофизических исследований в Потсдаме.

Полевой эксперимент начался в июле 2015 г. Немецкие коллеги привезли на Камчатку 60 комплектов современной сейсмологической аппаратуры и еще 23 были предоставлены российскими участниками проекта. Каждый комплект включал в себя датчик, регистратор, антенну GPS (для синхронизации времени) и набор одноразовых батарей «Бакен» российского производства общей емкостью 700 Ач и напряжением 14 В, которые хорошо себя зарекомендовали в суровых камчатских условиях (рис. 2).

Основная база экспедиции была организована в пос. Козыревск. Район Ключевской группы вулканов представляет собой слабо освоенную территорию. Относительно хорошая дорога есть только на западном и северном краях группы. Для доступа на влк. Толбачик и некоторые другие точки на западных склонах вулканической группы использовался автомобиль «КАМАЗ» Института вулканологии и сейсмологии. Все остальные территории, где были запланированы около 70 % станций, абсолютно недоступны для автомобильного транспорта. Поэтому был арендован легкий четырехместный вертолет типа Robinson, который способен приземлиться и на полянке в лесу, и на болоте, и на скальном утесе.

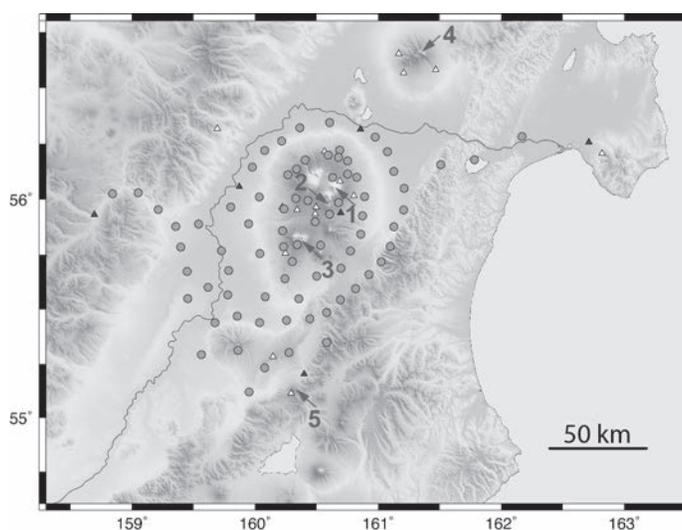


Рис. 3. Карта расстановки временных сейсмических станций (круги). Постоянные сейсмические станции отмечены треугольниками. Стрелки показывают положение активных вулканов: 1 – Ключевской, 2 – Безымянный, 3 – Толбачик, 4 – Шивелуч и 5 – Кизимен

В результате работы экспедиции в августе 2015 г. было установлено 83 станции (рис. 3). В течение года станции временной сети функционировали в автономном режиме и проконтролировать их работу было невозможно. Во время второго полевого сезона в июле 2016 г. станции были сняты с применением тех же транспортных средств. К сожалению, не все станции выдержали экстремальные условия. Несмотря на попытки замаскировать точки, три станции разграбили медведи и один регистратор был унесен лахаром – каменно-грязевой лавиной, вызванной извержением Ключевского вулкана в апреле 2016 г. Таким образом, удалось собрать наблюдения из 79 пунктов. С учетом трудных полевых условий такой результат можно считать успешным. Предварительный анализ сейсмограмм показывает их высокое качество, позволяющее выделять достаточно слабые сейсмические события под изучаемой областью. Особенно интересным с научной точки зрения событием стало извержение Ключевского вулкана, которое началось в апреле 2016 г. и продолжается по сегодняшний день. Записи, выполненные чувствительными, плотно расположенными приборами, являются уникальной информацией, которая позволит проследить детали процессов внутри вулкана, сопутствующих извержению. Ожидается, что при помощи новых данных, собранных во время полевого эксперимента 2015–2016 гг., будут получены новые знания, которые позволят ответить на множество вопросов, связанных с функционированием вулканов Ключевской группы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Федотов С.А., Хренов А.П., Жаринов Н.А. Ключевской вулкан, его деятельность в 1932–1986 гг. и возможное развитие // Вулканология и сейсмология. 1987. № 4. С. 3–16.
2. Koulakov I., Gordeev E.I., Dobretsov N.L., Vernikovskiy V.A., Senyukov S., Jakovlev A. Feeding volcanoes of the Kluchevskoy group from the results of local earthquake tomography // Geophys. Res. Lett. 2011. Vol. 38. L09305. doi:10.1029/2011GL046957.