

Динамика сейсмогенерирующего объема под Удинскими вулканами (2017–2019 гг.)**Ю.А. Кузнецов, В.А. Салтыков, П.В. Воронин***Камчатский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук», Петропавловск-Камчатский, e-mail: ku@emsd.ru*

Приведен обзор сильнейшей вспышки малоглубинной сейсмичности, зарегистрированной в районе потухшего Удинского вулканического комплекса (Камчатка, юго-восточный сектор Ключевской группы вулканов). Сейсмическая активизация длится с октября 2017 г. и представляет собой роевую последовательность землетрясений с магнитудой до $M_L=4,3$. Сейсмический процесс развивается с усилением. По данным камчатского каталога землетрясений сейсмогенерирующий объем захватывает $\sim 8000 \text{ км}^3$ в диапазоне глубин преимущественно до 20 км. Данные временной сети сейсмических станций позволили компактизировать сейсмоген и уточнить его расположение: активизация сосредоточена под постройкой вулкана Большая Удина.

Пробуждение и динамика магматического аппарата под вулканом может отражаться в сейсмичности. В отсутствие других видов наблюдений сейсмические данные являются единственным источником информации о потенциальной активизации вулкана, относящегося по существующей классификации к потухшим. Именно такая уникальная ситуация (сейсмическая активизация под потухшим Удинским вулканическим комплексом (УВК)) наблюдается с октября 2017 г. на Камчатке по данным камчатской региональной сети сейсмических станций [4].

УВК включает стратовулканы Большая и Малая Удина и несколько экструзивных куполов. Состав пород УВК (преимущественно андезиты ($\sim 80\%$), базальты ($\sim 20\%$)) предполагает формирование исходной магмы в коровой обстановке в условиях единого малоглубинного очага [1, 5]. Новое опробование пород УВК показало [6], что по составу они наиболее близки к продуктам вулкана Безымянного, для которого характерны катастрофические эксплозивные извержения. Сейсмотомография [7] выявила под УВК скоростную аномалию, которая может рассматриваться как область скопления магмы. В ходе сейсмологических наблюдений в районе УВК фиксировались редкие слабые землетрясения. Так с 1961 г. по 1998 г. по данным камчатского каталога здесь было зафиксировано всего два землетрясения. По результатам более детальной обработки с 1999 г. по сентябрь 2017 г. локализовано ~ 100 слабых событий ($M_L < 2,5$).

Текущая аномалия сейсмического режима представляет собой статистически значимую сейсмическую активизацию низкого энергетического уровня. С октября 2017 г. по конец февраля 2019 г. зарегистрировано ~ 2400 землетрясений с $M_L=1,0-4,3$ на глубине до 20–25 км. Эпицентры разбросаны на территории $\sim 20 \times 20$ км. С середины 2018 г. наблюдается миграция сейсмичности в южном направлении (рис. 1а), однако максимальные значения параметров сейсмического режима тяготеют к постройке Большой Удины (рис. 1б, 1в).

В 2017–2019 гг. активизация развивалась нелинейно, с усилением. Уровень сейсмичности находился преимущественно на *фоновом повышенном – высоком – экстремально высоком* уровне по шкале СОУС'09 [3]. Скорости сейсмического потока и выделившейся сейсмической энергии превышали среднеголетние значения в январе 2018 г. в 35 и 25 раз соответственно, в августе 2018 г. – в 70 и 1600 раз. В августе 2018 г. было зафиксировано три землетрясения с $M_L=3,7, 3,3, 3,2$. Сильнейшее землетрясение с $M_L=4,3$ произошло 06 февраля 2019 г.

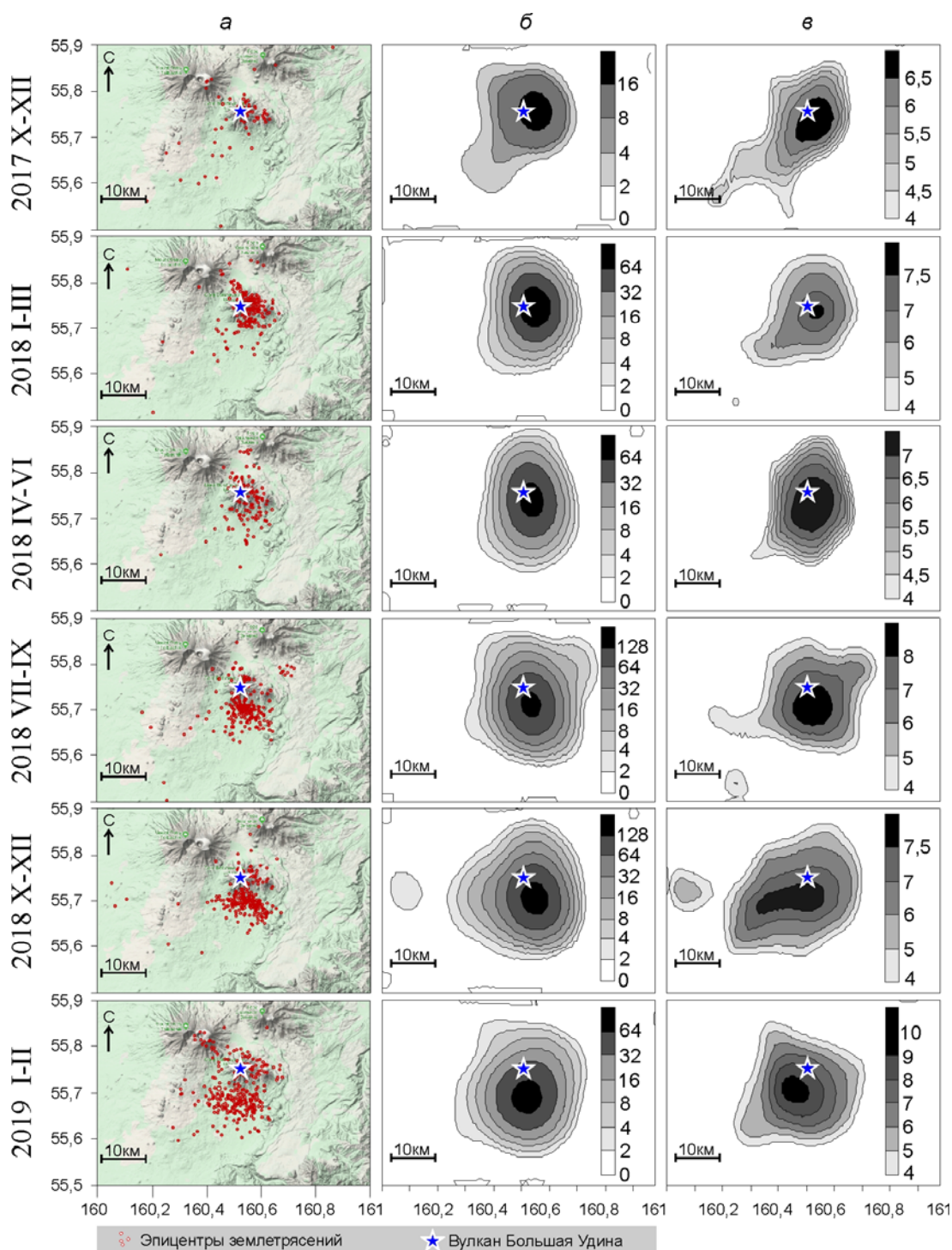


Рис. 1. Динамика сейсмического процесса в ходе Удинской сейсмической активизации (октябрь 2017 г. – февраль 2019 г.): *a* – карты эпицентров; *б* – плотность числа землетрясений; *в* – плотность выделившейся сейсмической энергии. Карты *б* и *в* построены для землетрясений представительного энергетического диапазона ($K_S \geq 3,9$ $ML \geq 1,2$) и нормированы на локальные максимумы параметров.

Удинские землетрясения относятся к длиннопериодным (LP, частотный диапазон 0,5–5 Гц) сейсмическим событиям, которые, по существующим представлениям, связаны с резонансными явлениями при продвижении вязкой магмы в канале питающей системы вулкана.

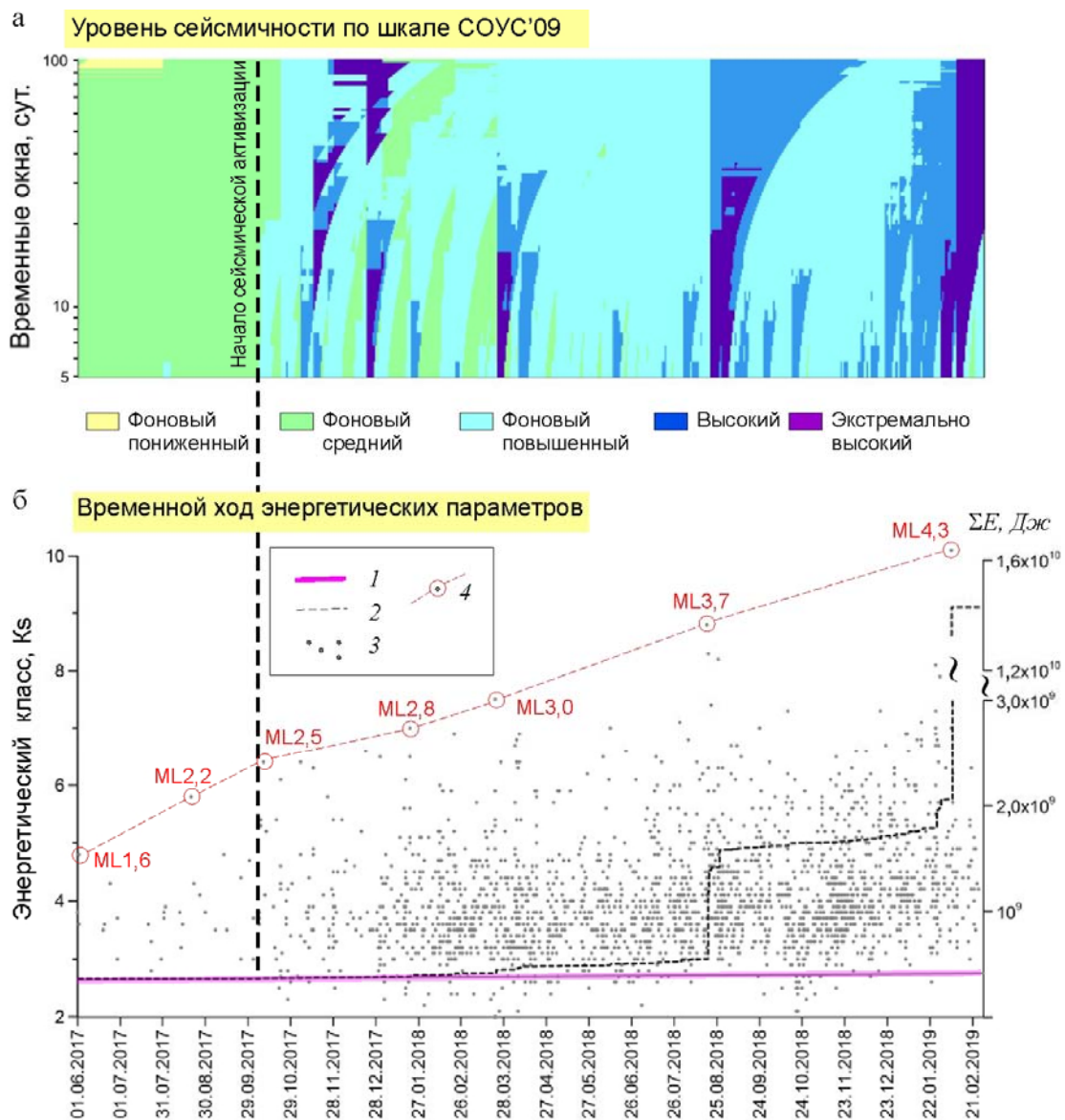


Рис. 2. Вариации уровня сейсмичности Удинской сейсмической активизации в различных временных окнах (а) и временной ход энергетических параметров (б) с 1.06.2017 г. по 28.02.2019 г. 1 – среднегодевной тренд выделяющейся сейсмической энергии; 2 – кумулятивная сейсмическая энергия; 3 – значения энергетического класса K_s для удинских землетрясений; 4 – значения и тренд максимальной магнитуды ML для удинских землетрясений.

Проблемы определения гипоцентров землетрясений в юго-восточной части Ключевской группы вулканов обсуждались в [2]. Было показано, что при привлечении данных дополнительных станций гипоцентры смещаются на расстояния, превышающие заявленные ошибки их определения в каталоге. Поэтому для изучения Удинской сейсмической активизации первостепенное значение имеет организация дополнительных наблюдений. По данным временных станций, установленных летом 2018 г. вокруг УВК И.Ф. Абкадыровым, нами выполнено уточнение положения сейсмогенерирующего объема под УВК (рис. 3). Показано, что сейсмические события концентрируются преимущественно под постройкой вулкана Большая Удина, что позволяет связать землетрясения с его магматической системой. Область под Малой Удиной при этом остается асейсмичной.

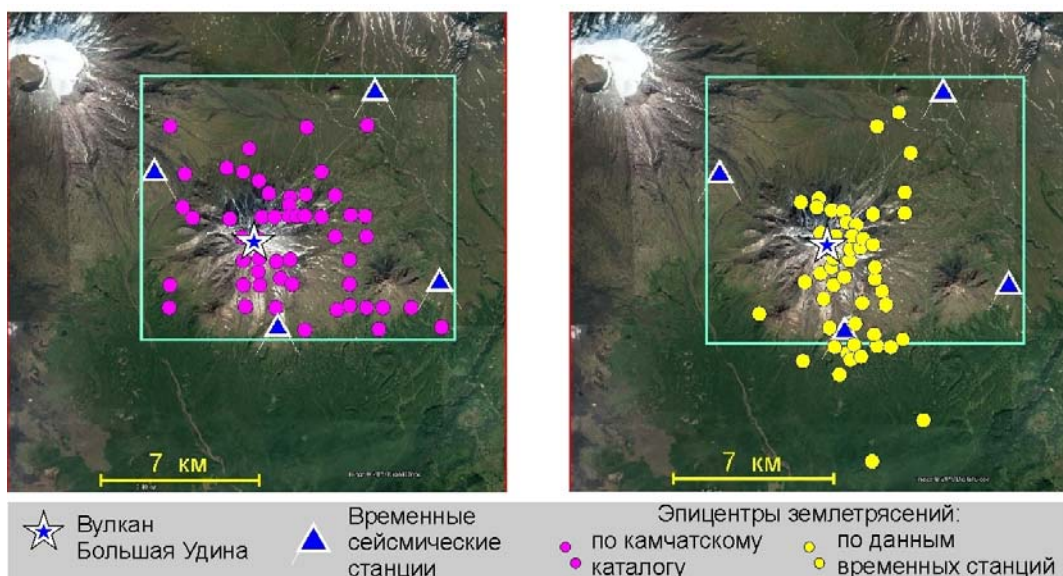


Рис. 3. Переопределение координат удинских землетрясений для контрольного полигона, ограниченного временными станциями. Контрольный полигон выделен прямоугольником.

Таким образом, сейсмическая активизация свидетельствует о пробуждении магматической системы под вулканом Большая Удина. Пространственно-временной анализ сейсмичности и интерпретация сейсмологических данных в комплексе с имеющейся геологической информацией формируют основу для разработки возможных сценариев поведения вулкана Удина.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-05-00204). Временные наблюдения дополнительными сейсмическими станциями проведены при частичной поддержке гранта РФФИ № 18-55-52003 МНГ_а (данные любезно предоставлены И. Ю. Кулаковым).

Список литературы

1. Ермаков В.А. Формационное расчленение четвертичных вулканических пород. М.: Недра, 1977. 223 с.
2. Кугаенко Ю.А., Салтыков В.А., Абкадыров И.Ф., Воропаев П.В. Временные сейсмологические наблюдения в районе трещинного Толбачинского извержения 2012-2013 гг. и их результаты // Вулканология и сейсмология. 2017. № 4. С. 67-82.
3. Салтыков В.А. Статистическая оценка уровня сейсмичности: методика и результаты применения на примере Камчатки // Вулканология и сейсмология. 2011. № 2. С. 53-59.
4. Салтыков В.А., Воропаев П.В., Кугаенко Ю.А., Чебров Д.В. Удинская сейсмическая активизация 2017-2018 гг. // Вестник КРАУНЦ. 2018. № 1. Вып. 37. С. 5-7.
5. Тимербаева К.М. Петрология Ключевских вулканов на Камчатке. М.: Наука, 1967. 208 с.
6. Churikova T., Gordeychik B., Wörner G. et al. Geochemical evolution of Bolshaya Udina, Malaya Udina, and Gornyy Zub Volcanoes, Klyuchevskaya Group (Kamchatka) // EGU General Assembly. 2017. Geophysical Research Abstracts. Vol. 19. EGU2017-10691.
7. Koulakov I., Abkadyrov I., Arifi N. et al. Three different types of plumbing systems beneath the neighboring active volcanoes of Tolbachik, Bezymianny and Klyuchevskoy in Kamchatka // J. Geophys. Res. Solid Earth. 2017. Vol. 122. Is. 5. P. 3852–3874.