

ОБ АНОМАЛИИ СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА, ПРЕДВАРЯВШЕЙ НОВОЕ (2012 г.) ТРЕЩИННОЕ ТОЛБАЧИНСКОЕ ИЗВЕРЖЕНИЕ НА КАМЧАТКЕ

Проявления сейсмической подготовки перед извержениями вулканов Ключевской группы могут быть разнообразны: ярким примером являются сильнейшие извержения последних 40 лет в ее южном секторе – Большое трещинное Толбачинское извержение 1975-1976 гг. (БТТИ) и трещинное Толбачинское извержение 2012 г.

Интенсивная сейсмическая подготовка, которая фиксировалась в течение 9 суток перед образованием Северного прорыва БТТИ, позволила сделать успешный прогноз этого извержения по сейсмическим данным (Большое...1984; Горельчик и др., 1988; Сеньюков, 2006; Федотов и др., 2010). Перед извержением 2012 г. наблюдалась другая ситуация: очевидная сейсмическая активизация стала наблюдаться лишь в последние сутки перед прорывом, а относительно сильные землетрясения ($K_s = 10 \div 11$, K_s – энергетический класс по классификации (Федотов, 1972)) не наблюдались вообще. Однако технические характеристики современной системы мониторинга сейсмической активности Ключевской группы вулканов (рис. 1) позволяют исследовать процессы подготовки извержения на более низком, чем в 1975 г., энергетическом уровне и выявить скрытые особенности сейсмического процесса.

Для обнаружения возможных аномалий, предшествовавших этому грандиозному геологическому явлению, проведен ретроспективный анализ сейсмичности района извержения по каталогу Ключевской группы вулканов 1999-2012 гг. (данные Камчатского филиала Геофизической службы РАН). Уровень надежной регистрации землетрясений для района «вулкан Плоский Толбачик – Толбачинский Дол» для каталога 1999-2012 гг. составляет $K_{min} = 4.5$. Рассматривались сейсмические события, зарегистрированные в радиусе 10 км от вершины вулкана Плоский Толбачик в диапазоне глубин до 30 км. Подавляющее большинство этих землетрясений (более 80%) зафиксированы на глубине до 5 км; максимальные энергетические классы $K_s = 7 \div 9$ отмечены для сейсмических событий 26-27.11.2012 г., которые произошли в течение последних суток перед извержением и связываются с его начальной фазой.

На рис. 2 приведены две карты эпицентров землетрясений в районе вулкана Плоский

Толбачик: с начала 1999 г. по июнь 2012 г. и за последние месяцы перед извержением (июль-ноябрь 2012 г.). Характер пространственного распределения землетрясений заметно изменился. Выделяются два облака эпицентров, которые произошли в последние пять месяцев перед извержением. Первое охватывает постройку вулкана Плоский Толбачик. Второе тяготеет к области нового протяженного прорыва 2012 г.

При анализе параметров сейсмического процесса учитывались только землетрясения, соответствующие уровню надежной регистрации $K_{min} = 4.5$ и произошедшие до 26.11.2012 г.

С середины 2012 г. наблюдаются отклонения от средних за 1999-2011 гг. скорости сейсмического потока и скорости выделения сейсмической энергии в сторону увеличения (рис. 3а, 3б). В августе 2012 г. произошло превышение максимальной за 1999-2011 гг. величины скорости сейсмического потока и скорости выделения сейсмической энергии во временных окнах 1-6 месяцев (рис. 3в, 3г). Это свидетельствует об активизации сейсмичности в исследуемом сейсмоактивном объеме.

Для того, чтобы оценить и охарактеризовать выявленную сейсмическую активизацию, обратимся к шкале уровня сейсмичности СОУС'09, которая описана в работе (Салтыков, 2011). Шкала СОУС'09 привязана к статистической функции распределения сейсмической энергии как к параметру, характеризующему уровень сейсмичности заданного пространственного объекта в определенный временной интервал. Этот подход вносит терминологическую определенность в описание состояния сейсмичности отдельных территорий и формализует понятие «сейсмический фон». Согласно шкале СОУС'09, 95% времени мониторинга сейсмичность находится на обычном, нормальном, фоновом уровне, 4% – на высоком либо низком уровне, и лишь 1% времени отводится на аномалию как отклонение от нормы (экстремально высокий или экстремально низкий уровень сейсмичности).

На рис. 4 представлены функции распределения выделившейся в исследуемом сейсмоактивном объеме сейсмической энергии для различных временных окон и номограмма, позволяющая на качественном уровне оценить

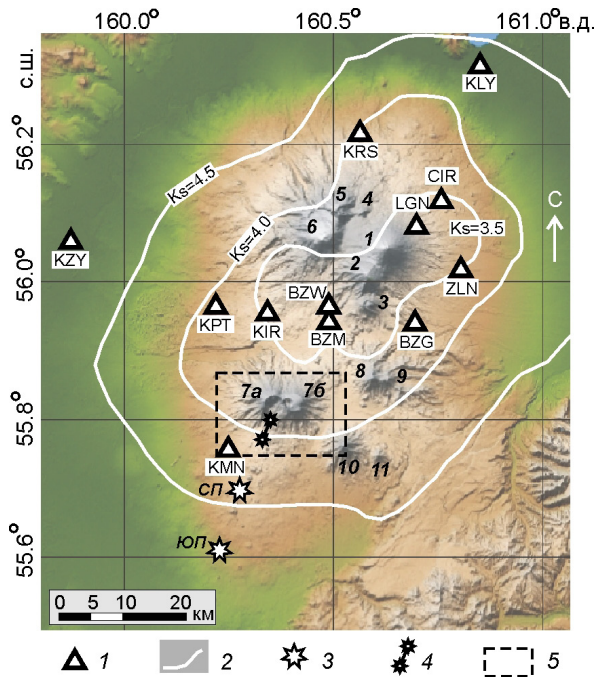


Рис. 1. Схема сети региональных сейсмических станций в районе Ключевской группы вулканов. 1 – сейсмические станции; 2 – контуры надежной регистрации Камчатской региональной сети для Ключевской группы вулканов; 3 – прорывы Большого трещинного Толбачинского извержения 1975-1976 гг. (СП – Северный прорыв, ЮП – Южный прорыв); 4 – прорыв 27 ноября 2012 г. – трещина с двумя эруптивными центрами, 5 – район, сейсмичность которого представлена на рис. 2. Номерами обозначены вулканы: 1 – Ключевской, 2 – Камень, 3 – Безымянный, 4 – Средний, 5 – Крестовский, 6 – Ушковский, 7а – Острый Толбачик, 7б – Плоский Толбачик, 8 – Большая Зиминая, 9 – Малая Зиминая, 10 – Большая Удина, 11 – Малая Удина.

сейсмическую активность района действующего вулкана Плоский Толбачик.

Низкий и экстремально низкий уровни сейсмичности для рассматриваемого массива данных статистически не определены. Фоновый пониженный уровень имеет смысл рассматривать во временных окнах более 100 суток, а фоновый средний – более 10 суток. Временные окна менее 5 суток для данного объекта по используемой методике не могут быть проанализированы. Эти ограничения статистических оценок связаны с тем, что имеются продолжительные временные интервалы, в которых не были зарегистрированы землетрясения представительного класса.

Временной ход уровня сейсмичности в 2012 г. представлен на рис. 5. Расчеты проводились с временным шагом 7 суток, каждая точка на графике совпадает с окончанием соответствующего временного окна. Выявлен статистически значимый переход уровня сейсмичности с фонового на высокий, а затем на экстремально высокий уровень, что соответствует многократному уве-

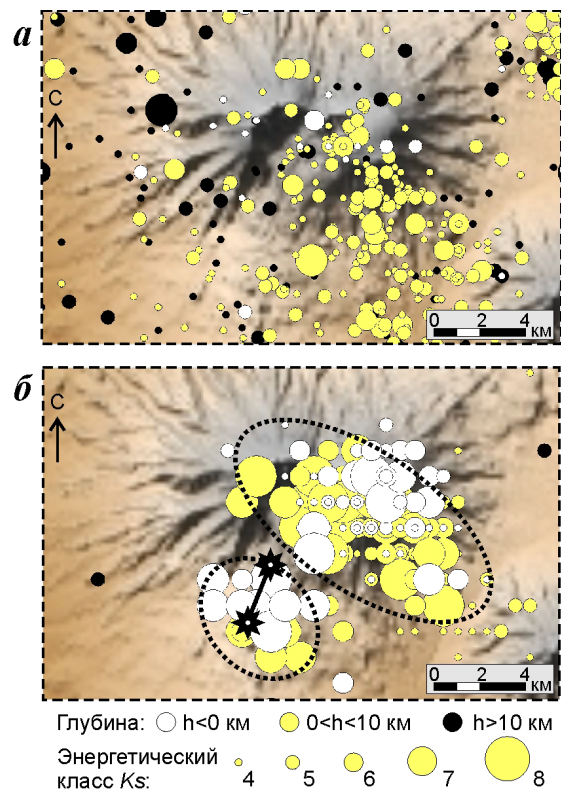


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений, зафиксированных в районе вулканов Острый и Плоский Толбачик: а – январь 1999 г. - июнь 2012 г.; б – июль - ноябрь 2012 г. Рассматриваемый район выделен прямоугольником на рис. 1. Эллипсами очерчены два облака группирования сейсмических событий перед извержением 2012 г.

личению числа землетрясений и выделившейся сейсмической энергии в июле-ноябре 2012 г. Уход с фонового уровня отмечается с августа 2012 г. Последние три недели перед трещинным прорывом 2012 г. сейсмичность анализируемого сейсмоактивного объема находилась на экстремально высоком уровне.

Таким образом, ретроспективный анализ сейсмических данных позволил выявить аномалию сейсмического режима перед началом трещинного Толбачинского извержения 2012 г. Аномалия проявляется в параметрах сейсмичности низкого энергетического уровня (преимущественно $K_s = 4 \div 6$) и представляет собой статистически значимую сейсмическую активизацию. Длительность аномалии (с появления возможности ее идентификации в оперативном режиме) составляет не менее 3 месяцев. Аномалия является уникальной для сейсмического процесса в районе вулкана Плоский Толбачик и не имеет аналогов по сейсмическим данным 1999-2012 гг. На карте эпицентров сейсмическая активизация проявляется в виде двух пространственно разнесенных групп землетрясений и охватывает обширную область: как зону нового извержения, так и всю постройку вулкана Плоский Толбачик.

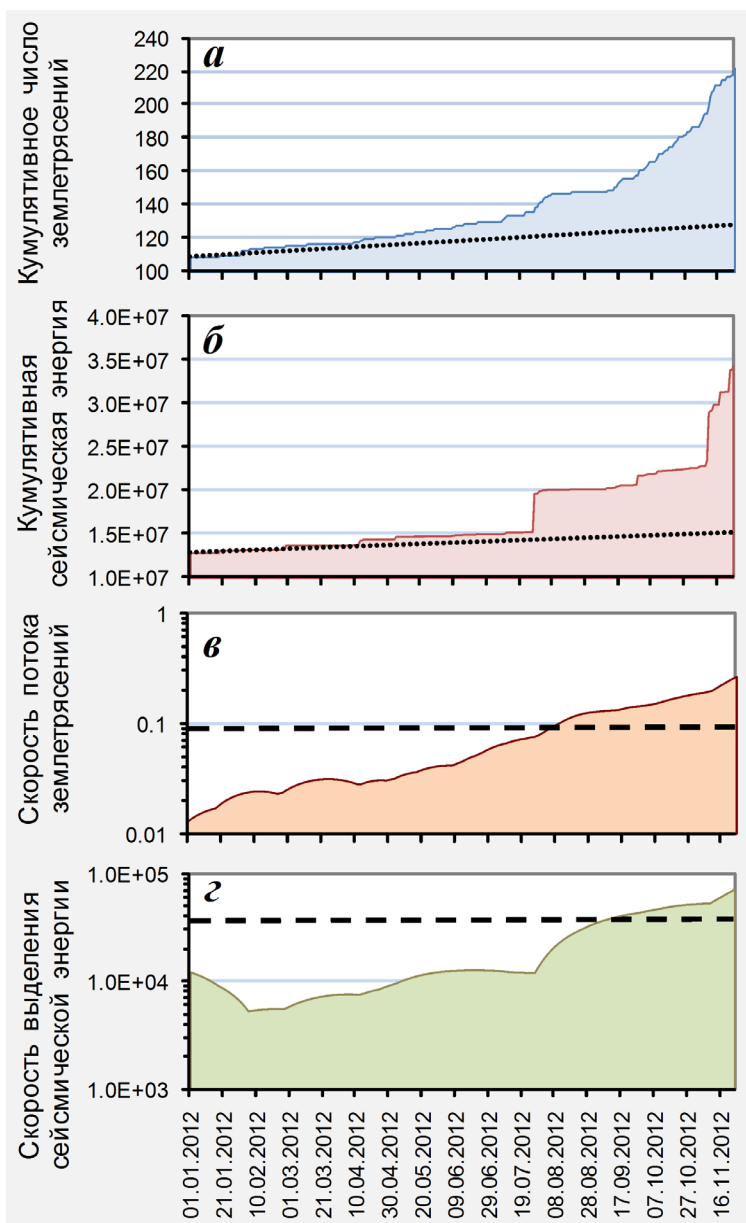
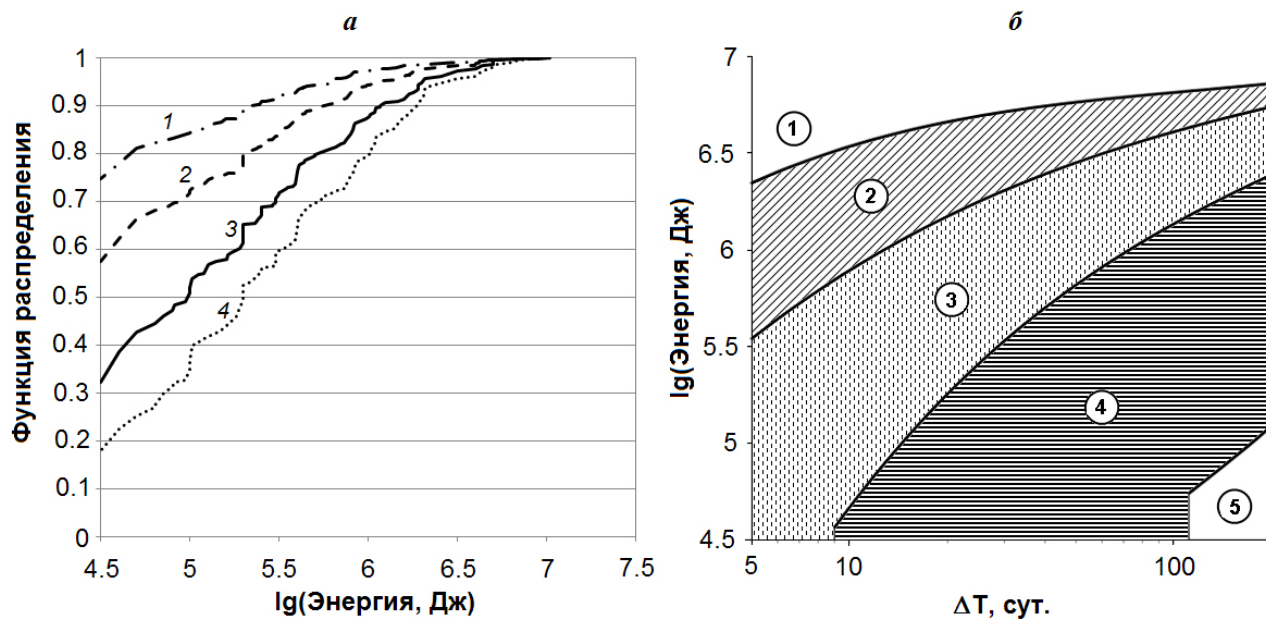


Рис. 3. Аномалия сейсмического режима перед извержением 2012 г. в параметрах сейсмичности. *а* – кумулятивный график числа землетрясений, *б* – кумулятивный график выделившейся сейсмической энергии (точечные пунктиры на *а* и *б* моделируют накопление числа землетрясений и выделившейся энергии со средней скоростью, определенной за интервал 1999-2011 гг.); *в* – скорость сейсмического потока для временного окна 120 суток, штриховой пунктир – максимальная скорость сейсмического потока, наблюдавшаяся по данным 1999-2011 гг. во временном окне 120 суток; *г* – скорость выделения сейсмической энергии для временного окна 120 суток, штриховой пунктир – максимальная скорость выделения сейсмической энергии, наблюдавшаяся по данным 1999-2011 гг. во временном окне 120 суток.

Рис. 4. Функция распределения выделившейся сейсмической энергии (*а*) для набора данных с 01.01.1999 по 25.11.2012 в области радиусом 10 км от вершины вулкана и в диапазоне глубин до 30 км в различных временных окнах (1 – 15 суток, 2 – 30 суток, 3 – 60 суток, 4 – 90 суток). Номограмма уровня сейсмической активности СОУС'09 для вулкана Плоский Толбачик (*б*). Уровни сейсмической активности: 1 – экстремально высокий, 2 – высокий, 3 – фоновый повышенный, 4 – фоновый средний, 5 – фоновый пониженный.



ОБ АНОМАЛИИ СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА

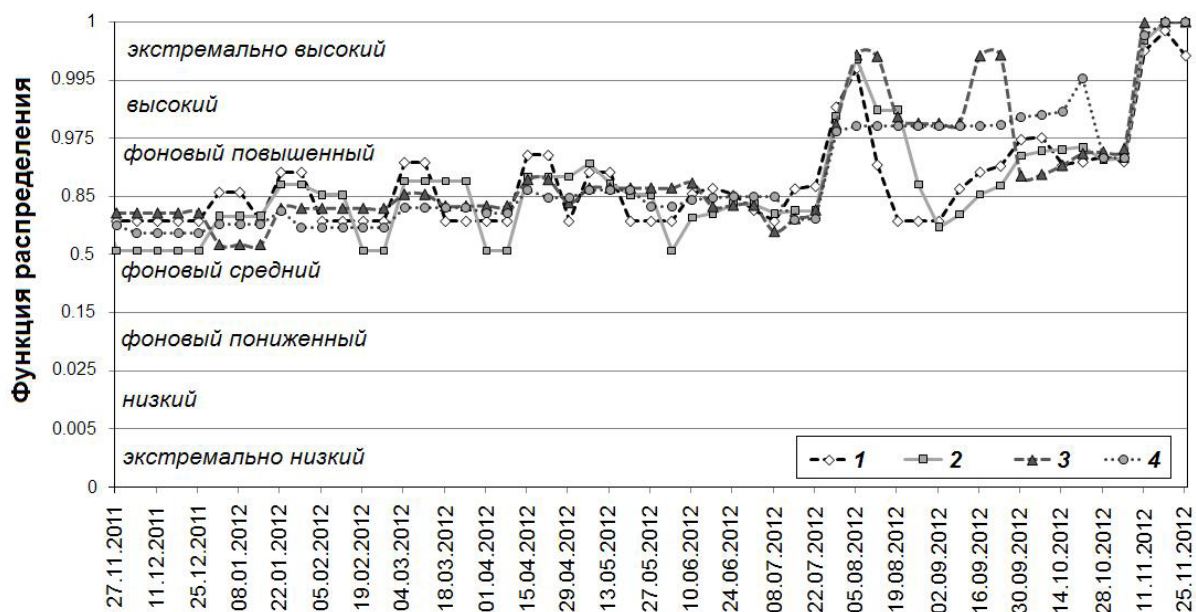


Рис. 5. Временной ход уровня сейсмичности в различных временных окнах (1 – 15 суток, 2 – 30 суток, 3 – 60 суток, 4 – 90 суток) за один год до начала извержения.

Список литературы:

- Большое трещинное Толбачинское извержение. М.: Наука, 1984. 637 с.
- Горельчик В.И., Чубарова О.С., Гарбузова В.Т. Сейсмичность района Северной группы вулканов Камчатки, 1971–1983 гг. // Вулканология и сейсмология. 1988. № 1. С. 90–100.
- Сенюков С.Л. Мониторинг активности вулканов Камчатки дистанционными средствами наблюдений в 2000–2004 гг. // Вулканология и сейсмология. 2006. № 3. С. 68–78.
- Салтыков В.А. Статистическая оценка уровня сейсмичности: методика и результаты применения на примере Камчатки // Вулканология и сейсмология. 2011. № 2. С. 53–59.
- Федотов С.А. Энергетическая классификация курило-камчатских землетрясений и проблема магнитуд. М.: Наука, 1972. 116 с.
- Федотов С.А., Жаринов Н.А., Гонтовая Л.И. Магматическая питающая система Ключевской группы вулканов (Камчатка) по данным об ее извержениях, землетрясениях, деформациях и глубинном строении // Вулканология и сейсмология. 2010. № 1. С. 3–35.

В.А. Салтыков,
к.ф.-м.н., зав.лаб., КФ ГС РАН;
Ю.А. Кугаенко,
к.ф.-м.н., ученый секретарь, КФ ГС РАН;
П.В. Воропаев,
н.с., КФ ГС РАН