



УДК 550.34+551.21

В. Т. Гарбузова, О. В. Соболевская

Камчатский филиал Геофизической службы РАН,
Петропавловск-Камчатский, 683 006;
e-mail: garb@emsd.ru, sva06@emsd.ru

Сейсмическая активизация в районе вулкана Кизимен в 2008–2010 гг.

В работе была исследована сейсмичность вулкана Кизимен за период 2008–2010 гг. В 2008 г. регистрировались землетрясения с глубин 5–7 км и их количество не превышало фоновый уровень сейсмичности. В 2009 г. регистрировались только глубокие землетрясения преимущественно с глубины 5–8 км. Началось резкое усиление сейсмичности в районе вулкана. Возросло как количество землетрясений всех типов, так и их энергетический уровень. В 2010 г. высокий уровень сейсмичности в районе вулкана сохранился и даже значительно вырос. В районе вулкана стали регистрироваться характерные сейсмические сигналы, которые обычно сопровождают такие вулканические процессы, как взрывы и сход пирокластических потоков. На основании анализа сейсмической информации в течение исследуемого периода, сотрудниками лаборатории ИСВА был сделан официальный прогноз, который был передан в КФ РЭС и участникам международного проекта KVERT.

Введение

Вулкан Кизимен (абсолютная высота: 2375 м, координаты вершины: 55,13° с. ш., 160,33° в. д.) — это единственный действующий вулкан, расположенный на сочленении грабена Центральной Камчатской депрессии с горстом Восточного хребта [4].

Последнее зафиксированное извержение произошло в 1927–1928 гг. Извержение носило умеренный эксплозивный характер и продолжалось не более месяца [7]. В период 2008–2009 гг. наблюдалась фумарольная деятельность различной интенсивности. Действующая фумарола находится примерно в 400 м ниже вершины, на северо-западном склоне вулкана [5].

Для анализа сейсмичности в районе в. Кизимен взята зона, выделенная ещё в 1983 г. в границах от 55,00° до 55,30° с. ш. и в пределах от 160,00° до 160,6° в. д. (рис. 1).

В радиусе порядка 135 км от вулкана располагаются 16 сейсмических станций. Ближайшие станции «KZV», «TUM» и «KMN» располагаются приблизительно в 3 км, 20 км и 69 км соответственно. Опорной для анализа всех сейсмических событий зарегистрированных из этого района является станция «TUM». Практически все землетрясения, зарегистрированные 3-мя и более станциями, локализованы и помещены дежурными операторами лаборатории ИСВА КФ ГС РАН в базу данных, которая доступна в сети Интернет по адресу: www.emsd.ru/ts. Представительным энергетическим классом (K_S) для событий из этого района является $K_S = 5,0$. В настоящее время, в лаборатории имеется каталог землетрясений из района в. Кизимен, который с 2003 г. по 2010 включает в себя около 600 событий,

которые локализовались на глубинах в пределах от 10 до 0 км, а так же события с гипоцентрами, локализованными выше уровня моря [1].

За исследуемый период в районе вулкана так же регистрировались слабые глубокие и поверхностные события, локализовать которые не представлялось возможным. Они отмечались одной или двумя ближайшими станциями. Данные об этих событиях содержатся в рабочих графиках и таблицах для детального анализа сейсмичности. К сожалению, за 2008–2010 гг. часть сейсмической информации была утеряна из-за больших пропусков в данных по техническим причинам. Потери достигали порядка 10–12 часов в день (рис. 2). За время пропусков данных, сильных землетрясений не происходило, иначе они были бы зарегистрированы сетью РТСС, а информация о слабых событиях в эти периоды времени была потеряна.

Сейсмичность района в 2008 г.

В 2008 г. сейсмичность в районе вулкана не превышала фоновый уровень. В настоящее время формально принято: сейсмичность является выше фоновой, если из района вулкана зарегистрировано и локализовано более 5 землетрясений $K_S \geq 4,0$, больше 2 землетрясений $K_S \geq 5,0$ за сутки. Всего за 2008 г. год было зарегистрировано 81 землетрясение типа I и 23 землетрясения типа II–III (по обновлённой классификации вулканических землетрясений П. И. Токарева) [2]. Суммарное отношение амплитуды к периоду ($\sum A/T$) для событий типа I было $\sim 63,09$ мкм/с, для событий типа II–III $\sim 16,99$ мкм/с за год. Наряду с локализованными событиями, так же регистрировались и слабые землетрясения, отмеченные по 1–2 станциям. Таких



Рис. 1. Карта Камчатки и сеть сейсмических станций.

событий за 2008 было 31 типа I, 1 событие типа II–III и 2 события типа IV. Вулканическое дрожание не регистрировалось [8]. Визуально на вулкане наблюдалась лишь слабая фумарольная деятельность (рис. 3).

Сейсмичность района в 2009 г.

В январе-марте 2009 г. регистрировались только землетрясения типа I, преимущественно с глубин 5–8 км. Всего за эти 3 месяца было зарегистрировано 12 землетрясений с максимальным энергетическим классом $K_S = 6,5$. Основная сейсмическая активизация вулкана началась в апреле 2009 г., когда количество зарегистрированных сейсмических событий стало значительно увеличиваться. За апрель-июнь 2009 г. всего было зарегистрировано порядка 167 событий типа I с $K_S^{max} = 7,0$ ($\sum A/T = 27,16$ мкм/с) и 139 событий типа II–III с $K_S^{max} = 5,7$ ($\sum A/T = 7,74$ мкм/с), что на порядок превысило уровень сейсмичности за предыдущие месяцы. Так же в период с января по июнь было зарегистрировано и 21 поверхностное событие IV типа [9].

Резкое усиление сейсмичности из района вулкана началось с 10 июля 2009 г. Возросло как количество землетрясений всех типов, так и их энергетический уровень. За период с 10 июля 2009 г. по 31 декабря 2009 г. было зарегистрировано 8282 землетрясения (в том числе и слабые), с глубин от 5 до 11 км. Гипоцентры большинства событий располагались в районе вулкана и его подножья, но были и события, возможно, маркирующие подвижки сети тектони-

ческих разломов Щапинского грабена, в пределах которого и располагается сам вулкан Кизимен. Поэтому, зачастую, очень сложно чётко определить, какие из сейсмических событий с глубин порядка от 5 до 11 км, возможно, относятся к движению магматического вещества под вулканом, а какие — исключительно к «работе» разломов. Максимальный энергетический класс этих землетрясений $K_S^{max} = 9,9$ ($\sum A/T = 677,07$ мкм/с). Землетрясений типа II–III (в том числе и слабых) было зарегистрировано 1570 с $K_S^{max} = 10,8$ ($\sum A/T = 1106,73$ мкм/с). Так же регистрировались и слабые землетрясения IV типа, их количество было соизмеримо с количеством

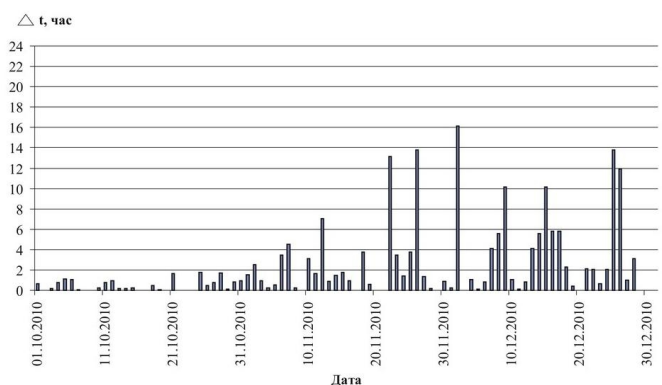


Рис. 2. График отсутствия сейсмических данных по техническим причинам за 2010 г.

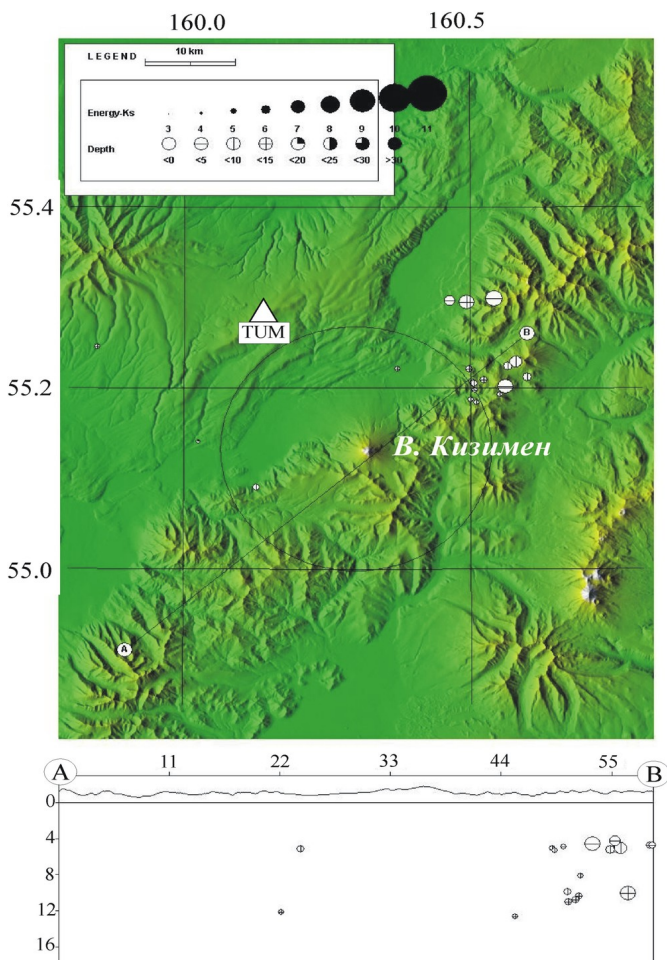


Рис. 3. Сейсмичность района в. Кизимен в 2008 г. Карта эпицентров и проекция гипоцентров на вертикальный разрез вдоль линии А-В.

предыдущего периода наблюдений. Вулканическое дрожание не отмечалось. По данным наблюдателей с базы отдыха «Тумрок», находящейся примерно в 6 км от вулкана, ощущались подземные толчки силой 3–4 балла. Сопоставив даты ощутимых землетрясений с сейсмическими данными за этот промежуток времени, можно было сделать вывод, что ощущались сейсмические события с глубин от 0 до 5 км с $K_S^{max} = 10,0–10,8$.

В сентябре 2009 г. в районе вулкана была установлена временная сеть из 3-х сейсмических станций. За время работы близкорасположенных временных РТС (с 16 сентября по 26 ноября), появилась возможность уточнить локализацию гипоцентров землетрясений из этого района [3]. В это же время, примерно в 3 км от вершины вулкана, была поставлена и запущена в эксплуатацию сейсмическая станция «KZV», позволяющая фиксировать и совсем слабые поверхностные события в постройке вулкана, регистрируемые только одной станцией. В итоге, при анализе данных, полученных с помощью этих станций, было установлено, что практически все землетрясения, обработанные за этот период, про-

исходили в постройке вулкана или же на глубинах до 5 км под ним. Так же фиксировались события, маркирующие «работу» сети разломов Щапинского грабена (рис. 4 I).

Сейсмичность района в 2010 г.

В 2010 г. высокий уровень сейсмичности в районе вулкана сохранился и даже значительно вырос. В первой половине года количество землетрясений I типа (глубины ≥ 5 км) и землетрясений II–III типов (глубины от 5 км и выше уровня моря) было приблизительно равным, но энергетические классы поверхностных землетрясений были значительно больше, чем у глубоких землетрясений [10].

В июле–сентябре 2010 г. из района вулкана уже регистрировались события преимущественно II–III типов, которые локализовались в слое до 5 км под вулканом и в его постройке (рис. 4 II).

В октябре–ноябре нарастание уровня сейсмичности продолжалось (рис. 4 IIIA). После 27 ноября энергия землетрясений и их количество несколько снизились, но это не было снижением вулканической активности. На основании анализа всей имеющейся сейсмической информации, 29 ноября 2010 г. в КФ РЭС сотрудниками лаборатории ИСВА было подано официальное предупреждение об усилении сейсмической активности вулкана Кизимен. Анализ информации производился по данным опорной станции «TUM» и станции «KZV».

В декабре 2010 г. в районе вулкана стали регистрироваться сейсмические сигналы (низкочастотные серии), которые обычно сопровождают такие вулканические процессы, как взрывы и сход пирокластических потоков. В период с 08 декабря 2010 г. и до конца года регистрировалось слабое вулканическое дрожание, которое не превышало 0,11 мкм/с (см. рис. 5 на стр. 19).

Визуально на вулкане стали наблюдаться первые редкие пепловые выбросы высотой до 1 км над вершиной. На спутниковых снимках 10 декабря была впервые зафиксирована термальная аномалия на вершине вулкана. На основании полученных данных, 10 декабря сотрудниками лаборатории ИСВА в Камчатский филиал РЭС был подан прогноз о возможном эксплозивном извержении вулкана в течение ближайшего месяца. 12 декабря 2010 г. в 19:49 UTC в течение $\sim 1/3$ часа стал регистрироваться сейсмический сигнал, возможно сопровождавший эксплозивное извержение на вулкане с выбросом пепла на высоту до 10 км н. у. м. По визуальным данным в это время на вулкане действительно произошёл мощный пепловый выброс с образованием пирокластического потока. Ось пеплопада была направлена на северо-запад. Пеплопады наблюдались в населённых пунктах, находящихся на расстоянии не менее 300 км от вулкана. По сейсмическим данным 12 декабря 2010 г. в 19:49 UTC была зарегистрирована серия поверхностных сейсмических событий продолжительностью 20 минут, которая сопровождала сильное эксплозивное извержение

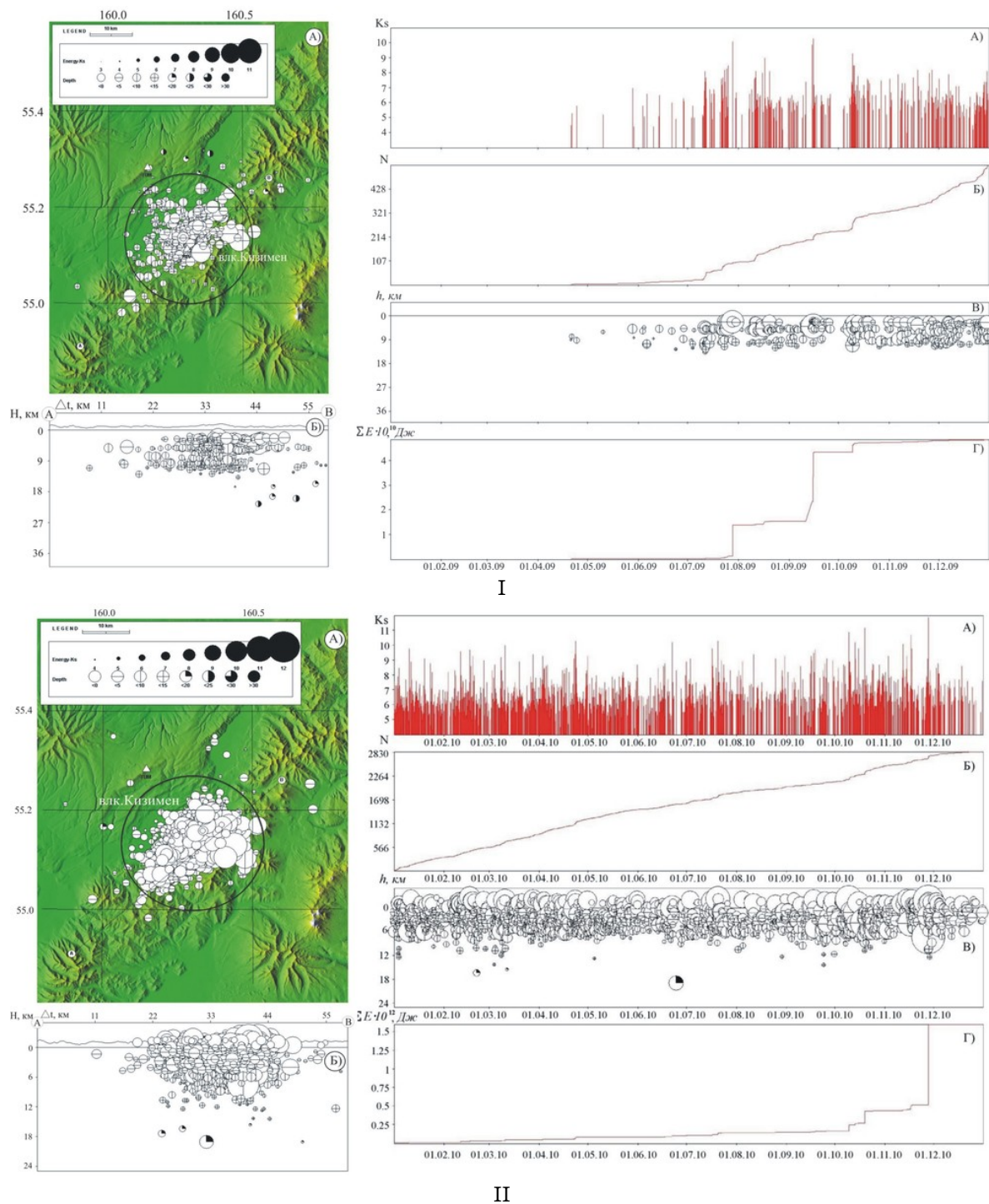


Рис. 4. Сейсмичность района влк. Кизимен в 2009 (I) и 2010 (II) г. Карта эпицентров и проекция гипоцентров на вертикальный разрез вдоль линии А-В. Графики распределения во времени различных параметров землетрясений: А) энергетический класс по S -волне; Б) кумулятивное количество землетрясений; В) глубина гипоцентров, км; Г) кумулятивная энергия, Дж.

вулкана Кизимен. По спутниковым данным АВО в 20:30 и 21:30 UTC наблюдалось распространение пеплового шлейфа от вулкана Кизимен на высоте около 10 км в северо-западном направлении через посёлки Козыревск и Тигиль.

В дальнейшем, до конца года, продолжала наблюдаться сейсмическая активность, в виде большого

количества слабых локальных поверхностных землетрясений и слабого вулканического дрожания, и вулканическая активность, в виде пепловых выбросов. 31 декабря в 17:56 UTC была зафиксирована ещё одна серия поверхностных сейсмических событий, которая сопровождала сильное эксплозивное извержение.

Таблица 1. Сводная сейсмичность, дополненная визуальными данными за 2008 – 2010 гг.

	2008			2009			2010		
	I	II–III	IV	I	II–III	IV	I	II–III	IV
<i>N</i> локализ	74	27	—	785	459	3	2001	5814	176
<i>N</i> слабые	38	3	1	2024	1238	27	5509	14 905	2426
K_S^{max}	8,2	7,2	—	9,9	10,8	—	12,2	11,2	—
$\sum A/T$	61,98	19,87	—	708,42	1114,47	2,09	14 799,87	10 348,33	95,67
низко-частотные серии		—			—			535	
вулканическое дрожание		—			—			+	
Визуальные наблюдения		СФД*		СФД*, мощная ПГД**				Пепловые выбросы до 7 км н. у. м, сход пирокластических потоков.	

* сильная фумарольная деятельность

** паро-газовая деятельность

Заключение

На основе анализа сейсмичности в районе вулкана Кизимен за исследуемый трёхлетний период, была составлена таблица сводной сейсмичности, систематизирующая все основные аспекты сейсмических событий. Для большей наглядности она была дополнена визуальной информацией о состоянии вулкана (табл. 1).

Подготовка эксплозивного извержения вулкана Кизимен вероятно началась ещё в июле 2009 г. и продолжалась до декабря 2010 г. Постепенно нарастало количество землетрясений I–III типов, а так же наблюдалось увеличение энергетического класса событий. Все землетрясения были локализованы в постройке вулкана или на глубинах до 5 км.

Непосредственно перед извержением и во время извержения в декабре 2010 г., стали регистрироваться поверхностные события, обычно сопровождающие мощную дегазацию и сход обломочных лавин. Слабое вулканическое дрожание регистрировалось только во время извержения.

Хотим отметить, что успешный прогноз (по решению КФ РЭС, раздел 37) сильного эксплозивного извержения вулкана Кизимен ($VEI = 3$) был сделан сотрудниками лаборатории ИСВА при отсутствии опыта регистрации извержений этого вулкана по сейсмическим данным, благодаря накопленному опыту по слежению за камчатскими вулканами с привлечением литературных данных о подобных вулканах мира [10]. Все эти данные о мощных эксплозивных фазах извержения (сейсмические, визуальные и спутниковые) были переданы по электронной почте и телефону заинтересованным организациям в режиме, близком к реальному времени.

Список литературы

1. Гарбузова В. Т., Соболевская О. В. Сейсмичность в районе вулкана Кизимен 1996 – 2007 гг. // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Материалы по итогам конференции. Петропавловск-Камчатский: Издательство КФ ГС РАН, 2008. С. 64–68.
2. Гарбузова В. Т., Соболевская О. В. Обновлённая классификация вулканических землетрясений Камчатки Токарева П. И. // Вторая региональная научно-техническая конференция 11–17 октября 2009 г. Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Второй региональной научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский: Издательство КФ ГС РАН, 2010. С. 25–29.
3. Кожевникова Т. Ю., Шакирова А. А. Исследование сейсмичности в районе вулкана Кизимен с 1960 по 2009 гг. // Материалы VII региональной молодежной научной конференции «Исследования в области наук о Земле». 25 ноября 2009 г. Петропавловск-Камчатский: Издательство КамГУ им. В. Беринга, 2009. С. 25–38.
4. Мелекесцев И. В., Пономарева В. В., Вольнец О. Н. Вулкан Кизимен (Камчатка) – будущий Сент-Хеленс? // Вулканология и сейсмология. 1994 г. №4. С. 3–32.
5. Тембрел И. И., Овсянников А. А. Состояние вулкана Кизимен на Камчатке летом 2009 г. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2009. № 2. С. 7–9.
6. Федотов С. А. Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. Москва: Наука, 1972. 116 с.
7. Шанцер А. Е., Кутыев Ф. Ш., Петров В. С. Вулкан Кизимен. // Бюллетень вулканологических станций. 1973. № 49. С. 29–35.
8. Отчёт лаборатории ИСВА за 2008 г.
9. Отчёт лаборатории ИСВА за 2009 г.
10. Отчёт лаборатории ИСВА за 2010 г.

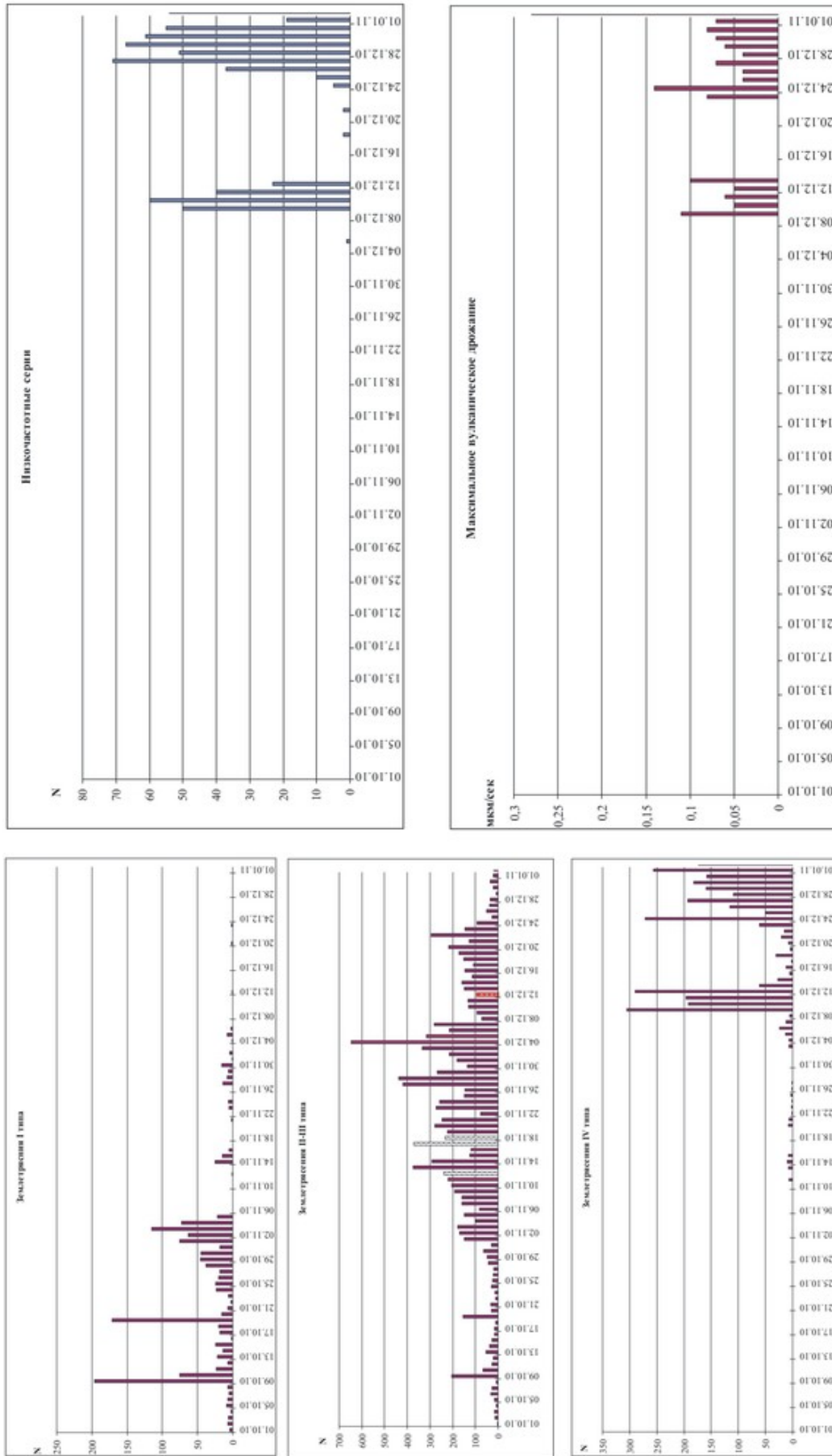


Рис. 5. Графики количества землетрясений всех типов и вулканического дрожания с 01 октября 2010 г. по 01 января 2011 г.