УДК 550.34

СЕЙСМИЧНОСТЬ В РАЙОНАХ ВУЛКАНОВ КАМБАЛЬНЫЙ, ЖЕЛТОВСКИЙ, КСУДАЧ, КРАШЕНИННИКОВА И БОЛЬШОЙ СЕМЯЧИК В 2009-2017 ГГ.

Сенюков С.Л., Нуждина И.Н., Дрознина С.Я., Кожевникова Т.Ю., Назарова З.А., Соболевская О.В., Гарбузова В.Т., Напылова Н.А., Толокнова С.Л., Напылова О.А., Должикова А.Н.

Камчатский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский, ssl@emsd.ru

Введение

Полуостров Камчатка, лежащий в зоне перехода от Азиатского континента к Тихому океану и сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг, относится к регионам, где сейсмичность, вулканические и динамические процессы достигают наивысшей интенсивности на нашей планете. На Камчатке находятся наиболее активные вулканы мира. Ежегодно здесь наблюдаются эксплозивные и эксплозивно-эффузивные извержения трех-пяти вулканов. Камчатский филиал Геофизической службы (КФ ФИЦ ЕГС РАН) проводит ежедневный мониторинг сейсмической и вулканической активности вулканов Камчатки в режиме, близком к реальному времени, с 2000 года. Наблюдения ведутся по трем направлениям: сейсмологический мониторинг, визуальные и видеонаблюдения, спутниковый мониторинг. Сейсмологический мониторинг является ведущим методом, так как позволяет проводить непрерывный контроль, независимо от погоды. Важнейшим фактором эффективности мониторинга является состояние системы наблюдений. В настоящее время созданная в КФ ФИЦ ЕГС РАН сеть станций [6] позволяет наблюдать за сейсмической активностью 13-ти вулканов с разной степенью детальности. На остальных возможна регистрация только сильных сейсмических событий по удаленным станциям, что не позволяет своевременно выделить сейсмические предвестники вулканических извержений. В последние годы произошла активизация и извержение вулканов, долгое время находившихся в состоянии покоя. 12 декабря 2010 г. началось мощное эксплозивно-эффузивное извержение вулкана Кизимен, находившегося в состоянии покоя почти 80 лет [3]. Последнее Трещинное Толбачинское извержение имени 50-летия Института вулканологии и сейсмологии произошло с 27 ноября 2012 г. до сентября 2013 г. (ТТИ-2012-2013) [4]. Предыдущее извержение этого вулкана зарегистрировано в 1975 – 1976 гг. После 56-ти летнего периода фумарольной деятельности 23 октября 2013 г. пробудился вулкан Жупановский [5]. 22 марта 2017 г. стала регистрироваться сейсмическая активность в районе вулканов Кошелевский и Камбальный, расположенных на территории Южной Камчатки. А 25 марта началось эксплозивное извержение вулкана Камбальный, не проявлявшего себя более двух веков.

В работе представлена сейсмичность, зарегистрированная до и во время извержения вулкана Камбальный в марте 2017 г. А так же сейсмическая активность районов вулканов Желтовский, Ксудач, Крашенинникова и Большой Семячик за период 2009-2017 гг.

Результаты исследований сейсмической активности вулкана Камбальный

Вулкан является самым южным вулканом Южно-Камчатской вулканической зоны, расположен на юге Камбального хребта, координаты вершины 51° 15′с.ш., 156° 46′в.д. (рис. 1). Это действующий конусовидный стратовулкан с абсолютной высотой 2156 м, на склонах которого имеется пять шлаковых конусов голоценового возраста. В историческое время извержений отмечено не было, вулканическая активность проявлялась только в виде фумарольной деятельности [1]. Ближайшая сейсмическая станция «Паужетка» (PAU) находится в 22 км на север от вулкана. Остальные станции удалены на 100 км и более: «Северо-Курильск» (SKR) в ~101 км на юго-запад; «Ходутка» (KDT) – 116 км на северо-восток. Расчетный уровень надежной регистрации землетрясений в районе вулкана Камбальный, составляет K_{min}=6.5.

Сейсмическая активизация началась с серии слабых землетрясений 22 марта с 19^h40^m до 20^h12^m UTC. Количество землетрясений и их энергия увеличивались с каждым часом (рис. 1д, 2). Ретроспективно было выделено начало эксплозивного извержения по сейсмическим данным - 24 марта в 12^h21^m станцией PAU было зарегистрировано поверхностное событие, возможно сопровождавшее газо-пепловый выброс (рис. 3). Из нашего опыта важно отметить, что по сейсмологическим данным можно уверенно выделять сигналы, соответствующие пепловым выбросам, если удаление опорной сейсмостанции от эруптивного центра не превышает 10 км. Это

связано со значительным затуханием относительно высокочастотной части спектра сигнала в такой сильно поглощающей среде как шлак, слагающий верхнюю часть разреза под станцией приема. По данным очевидцев, находившихся на кордоне «Прибрежный» в ~ 15 км на ЮЗ от вулкана, 24 марта в 21^h50^m UTC (25 марта в 09^h50^m KLT) наблюдались пепловые выбросы на высоту 3–6 км над уровнем моря. На спутниковых снимках, предоставляемых Аляскинской Вулканологической Обсерваторией, наблюдались протяженные пепловые шлейфы от извержения вулкана (рис. 3).

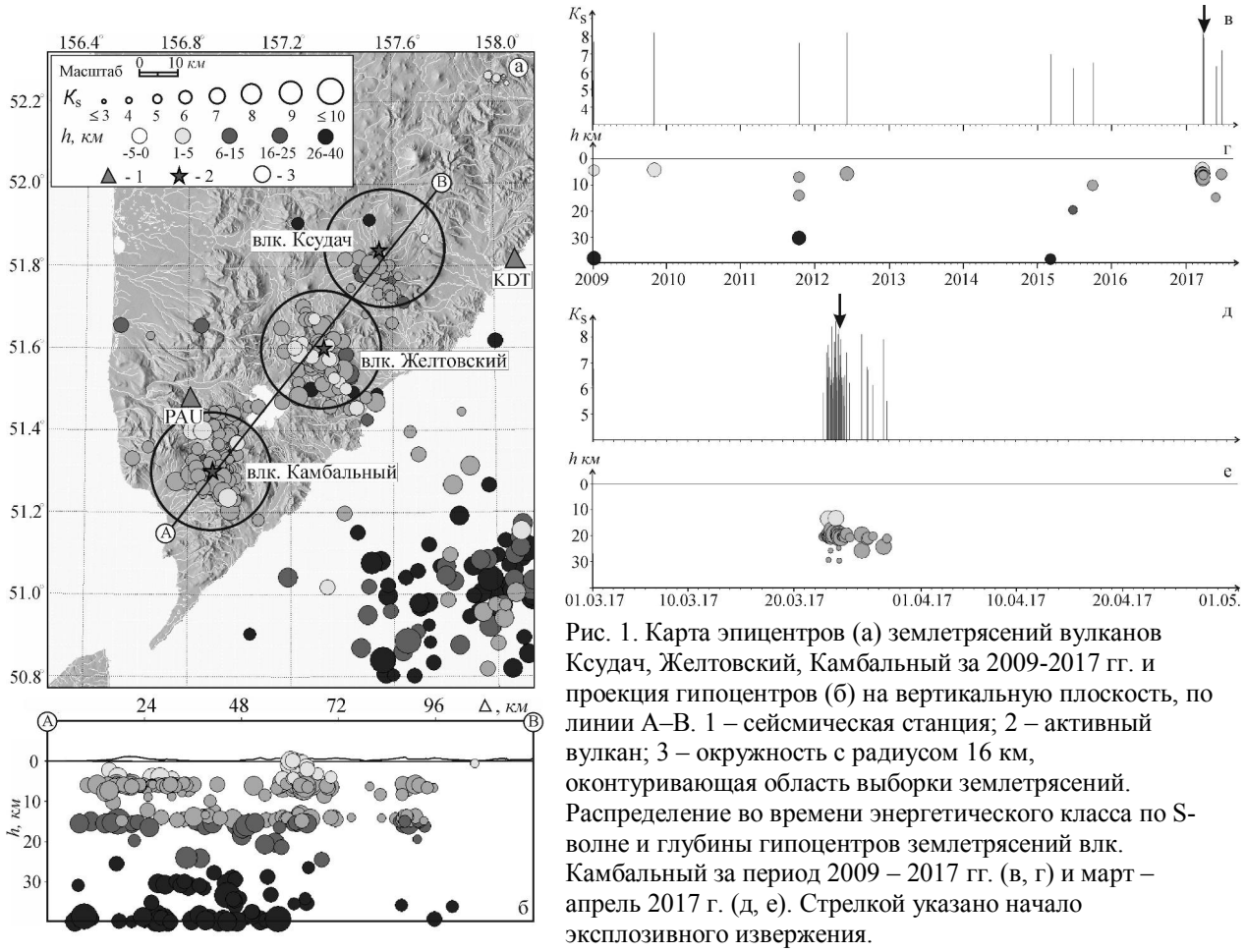

Рис. 1. Карта эпицентров (а) землетрясений вулканов Ксудач, Желтовский, Камбальный за 2009-2017 гг. и проекция гипоцентров (б) на вертикальную плоскость, по линии А–В. 1 – сейсмическая станция; 2 – активный вулкан; 3 – окружность с радиусом 16 км, оконтуривающая область выборки землетрясений. Распределение во времени энергетического класса по S-волне и глубины гипоцентров землетрясений влк. Камбальный за период 2009 – 2017 гг. (в, г) и март – апрель 2017 г. (д, е). Стрелкой указано начало эксплозивного извержения.

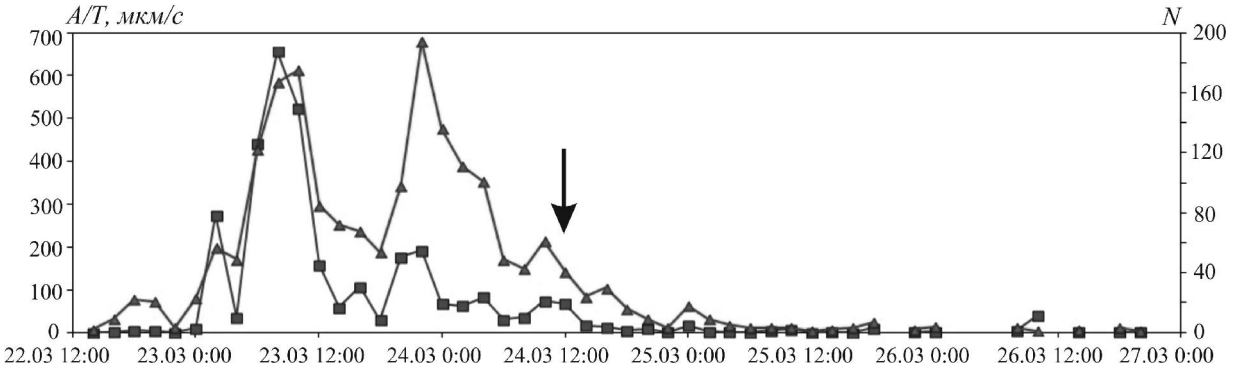

Рис. 2. График изменения во времени количества локальный землетрясений (треугольные маркеры) и их суммарной амплитуды (квадратные маркеры) в 2-х часовом окне в период с 22 по 27 марта 2017 г. Стрелкой показано начало извержения.

С 1 января 2009 г. по 1 августа 2017 г. в радиусе 16 км от вулкана было локализовано 92 землетрясения с энергетическим классом $5.0 \le Ks \le 8.6$ (рис. 1а, в, г). Из них 80 событий во время сейсмической и вулканической активизации в марте 2017 г. (рис. 1д, е). Гипоцентры землетрясений определены в диапазоне глубин h=4.1–39 км. Средняя ошибка локации для них

составила 10.9 км в плане и 5.8 км по глубине. Землетрясение с максимальным классом *Ks*=8.6 зарегистрировано перед извержением вулкана 24 марта в 00^h03^m на глубине *h*=5.9 км.

Из-за не достаточного количества станций вблизи вулкана, слабую сейсмичность (*Ks*≤5.0) локализовать не удалось. На рисунке 2 представлено изменение во времени количества таких землетрясений и их суммарной амплитуды в 2-х часовом окне.

Слабые землетрясения фиксировались только на станции PAU и были выделены после визуального просмотра непрерывной сейсмической записи. Всего в период с 22 по 27 марта выбрано 1915 локальных землетрясений. Для отдельных из них с большим отношением сигнал/шум была проведена обработка по одной станции в программе «DIMAS» [2]. По трехкомпонентной записи землетрясения рассчитывалось направление (азимут) на эпицентр по поляризации Р-волн, эпицентральное расстояние оценивалось по разнице прихода Р и S-волн, глубина при такой обработке не определялась. Таким образом, удалось приблизительно оценить положение эпицентров слабых землетрясений по записи на станции PAU, которые оказались приуроченными к району Камбального в радиусе 16 км от вулкана.

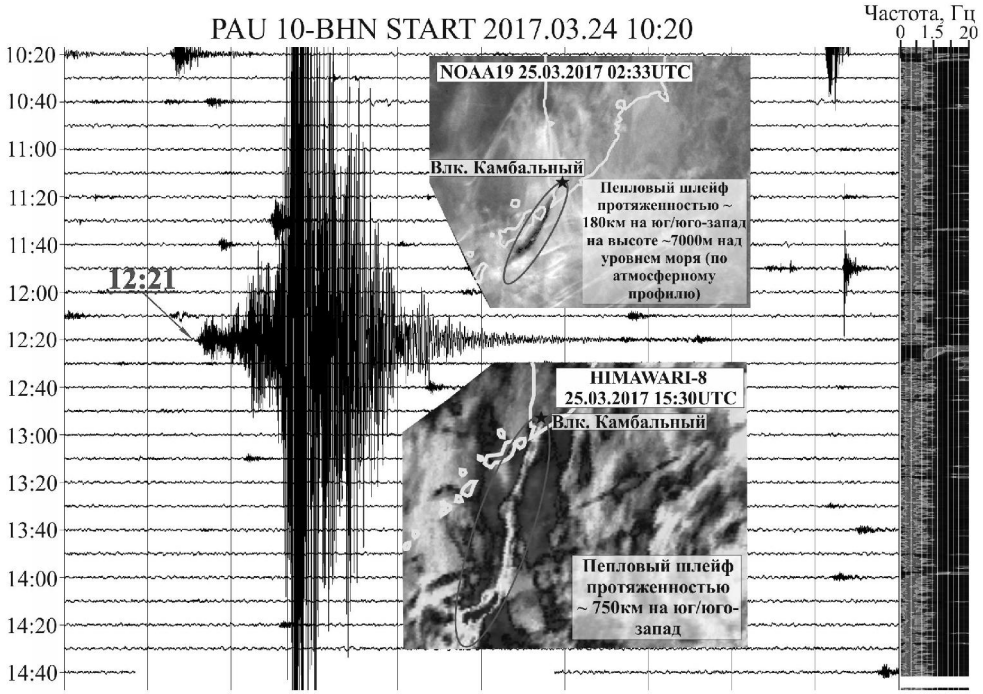

Рис. 3. Сейсмограмма сейсмостанции PAU с сейсмическим событием, возможно сопровождавшим пепловый выброс. Справа от сейсмограммы временная спектрограмма, показывающая изменение преобладающей частоты сигнала. На врезках фрагменты спутниковых снимков с пепловыми шлейфами от извержения вулкана Камбальный.

С 29 марта уровень сейсмичности снизился. По данным комплексного мониторинга в марте – апреле вулкану Камбальный 9 раз присваивался «Оранжевый» код опасности и 5 – «Желтый».

Результаты исследований сейсмической активности вулкана Желтовский и Ксудач

Вулкан Желтовский расположен в Южно-Камчатской вулканической зоне в 16 км на северо-восток от Курильского озера. Это двойной стратовулкан с сомой и вершиной, разрушенной эксплозиями. Абсолютная высота вершины 1953 м, координаты: 51° 30′с.ш., 157° 17′в.д. [1]. Последнее извержение, вероятно, произошло в 1923 г., когда частично в кратер и на юго-западный склон излился лавовый поток андезито-базальтового состава. В 1972–1973 гг. наблюдалась фумарольная деятельность в современном кратере вулкана. В настоящее время вулкан Желтовский находится в состоянии покоя [1]. Тем не менее, сейсмическая активность в районе вулкана регистрируется (рис. 1а). Ближайшая станция PAU находится в ~ 43 км на северо-восток от вулкана.

За исследуемый период с января 2009 по август 2017 гг. в радиусе 16 км от вулкана (рис. 1а) было локализовано 79 землетрясений с 5.8≤*Ks*≤8.9 в диапазоне глубин *h*=0–35.5 км (рис. 4а, б). При этом наибольшая сейсмическая активность наблюдалась в 2009-2010 гг. (рис. 4а). Средняя

ошибка определения их гипоцентра составила 13.9 км в плане и 9.6 км по глубине. Землетрясение с максимальным классом *Ks*=8.9 произошло 2 февраля 2009 г. в 16^h45^m под постройкой вулкана на глубине *h*=6.5 км.

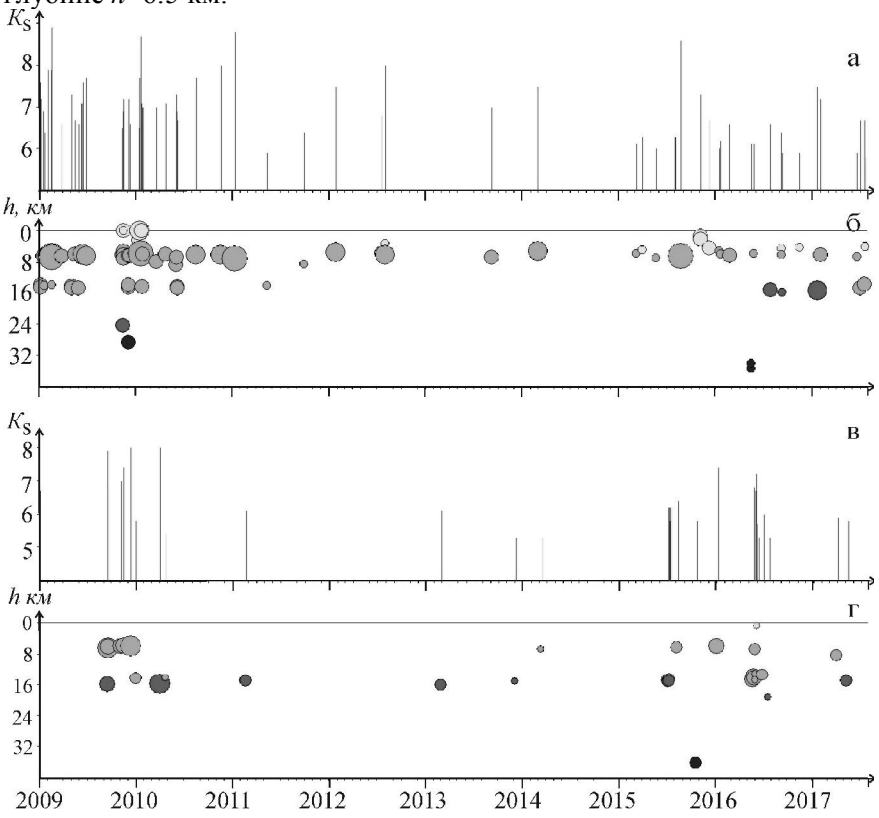

Рис. 4. Распределение во времени энергетического класса по S-волне и глубины гипоцентров землетрясений, локализованных в радиусе 16 км от вулканов Желтовский (а, б) и Ксудач (в, г) за период 2009 – 2017 гг.

Вулкан Ксудач также расположен в южном вулканическом поясе Камчатки и относится к типу кальдерных вулканов. Координаты центра кратера 1907 г.: 51° 30′с.ш., 157° 17′в.д. Абсолютная высота постройки 900–1000 м [1]. В историческое время наблюдалось мощное пирокластическое извержение в марте 1907 г. В настоящее время вулканическая активность проявляется в виде газогидротермальной деятельности.

Ближайшая сейсмическая станция KDT находится в ~ 40 км на восток от вулкана (рис. 1а). В период 2009–2017 гг. в радиусе 16 км от вулкана было локализовано 32 землетрясения ($4.3 \le Ks \le 8.0$; $0.7 \le h \le 36.2$ км) (рис. 4в, г). Средняя ошибка определения их гипоцентра составила 10.2 км в плане и 6.8 км по глубине. Самое сильное землетрясение в исследуемый период *Ks*=8.0 произошло 14 декабря 2009 г. в 11^h46^m, очаг определен на глубине 6 км.

Результаты исследований активности вулканов Крашенинникова и Большого Семячика

Вулкан Крашенинникова расположен в восточном вулканическом поясе в 13 км к югу от Кроноцкого озера. Координаты вершины 54° 37′ с.ш., 160° 36′ в.д. Это действующий вулкан образованный двумя слившимися конусами. Абсолютная высота Южного конуса 1857 м [1]. В историческое время извержений не наблюдалось. Вулканическая активность проявляется в виде фумарольной деятельности. Ближайшие сейсмические станции «Жупаново» (GPN), «Тумрок» (TUM), «Тумрок-источники» (TUMD) находятся в ~ 60-65 км от вулкана. С января 2009 по август 2017 гг. в радиусе 13 км от вулкана и диапазоне глубин от вершины до 30.3 км было локализовано 38 землетрясений с $4.5 \le Ks \le 8.5$ (рис. 5а, б, в, г). Средняя ошибка определения их гипоцентра составила 9.6 км в плане и 8.3 км по глубине. Землетрясение с *Ks*=8.5 произошло в 2014 г. 17 декабря на глубине 16.7 км под южной частью постройки вулкана.

Вулкан Большой Семячик расположен в пределах Восточно-Камчатского вулканического пояса и представляет собой сложную вулканическую постройку. Координаты вершины: 54° 37′ с.ш., 160° 36′в.д. [1]. Современное состояние вулканического массива характеризуется наличием кипящих и грязевых котлов, мощной парогазовой деятельностью. Ближайшая станция GPN находится в 25 км на юг от вулкана. Всего в исследуемый период в районе вулкана (рис. 5а, б, д, е) было зарегистрировано 46 землетрясений ($5.6 \le Ks \le 9.1$, $1.2 \le h \le 39.7$ км). Средняя ошибка

определения их гипоцентра составила 6.5 км в плане и 8.1 км по глубине. Землетрясение с максимальным классом *Ks*=9.1 (*h*=6.5 км) произошло 27 июня 2014 г. в $04^{h}46^{m}$.

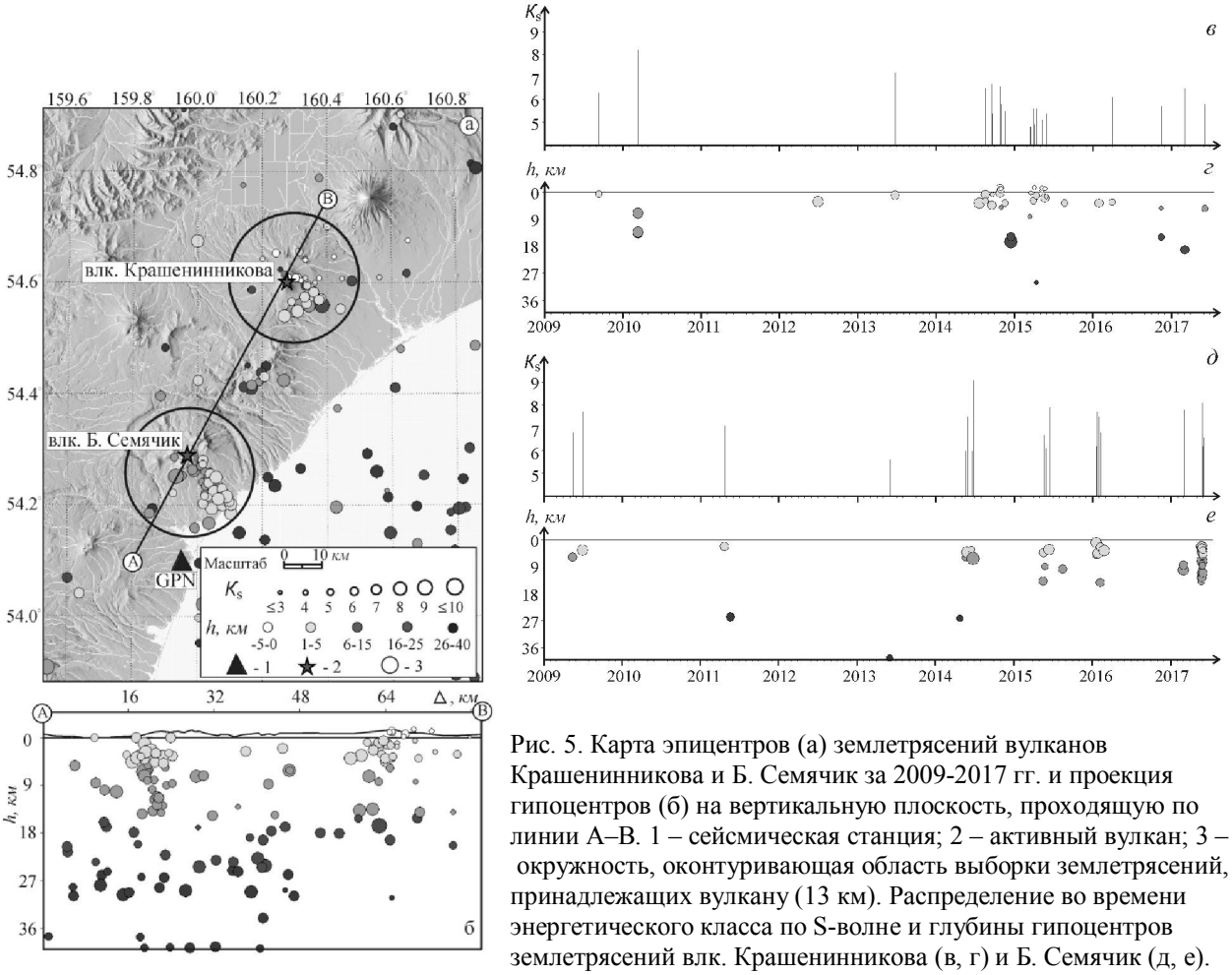

Рис. 5. Карта эпицентров (а) землетрясений вулканов Крашенинникова и Б. Семячик за 2009-2017 гг. и проекция гипоцентров (б) на вертикальную плоскость, проходящую по линии А–В. 1 – сейсмическая станция; 2 – активный вулкан; 3 – окружность, оконтуривающая область выборки землетрясений, принадлежащих вулкану (13 км). Распределение во времени энергетического класса по S-волне и глубины гипоцентров землетрясений влк. Крашенинникова (в, г) и Б. Семячик (д, е).

Заключение

Существующая в настоящее время сеть станций КФ ФИЦ ЕГС РАН позволила локализовать землетрясения в районе вулканов Камбальный, Желтовский, Ксудач, Крашенинникова и Большой Семячик с классом *Ks*≥4.5 в 2009-2017 гг. Полученные результаты в будущем дадут возможность более обоснованно оценивать опасность новых извержений этих вулканов.

Список литературы

1. Действующие вулканы Камчатки // отв. ред. С.А.Федотов и Ю.П.Масуренков, М.: Наука, 1991, Т.2, 413с.

2. *Дрознин Д.В., Дрознина С.Я.* Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Сейсмические приборы ИФЗ РАН. Москва 2010 г. Т.46. № 3. С. 22-34.

3. *Сенюков С.Л., Нуждина И.Н., Дрознина С.Я., Гарбузова В.Т., Кожевникова Т.Ю., Соболевская О.В.* Сейсмичность вулкана Кизимен // Труды Третьей научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский, 9-15 октября 2011 г. Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Обнинск: ГС РАН, 2011. С. 140–144.

4. *Сенюков С.Л., Нуждина И.Н., Дрознина С.Я., Гарбузова В.Т., Кожевникова Т.Ю., Соболевская О.В., Назарова З.А.* Сейсмичность района вулкана Плоский Толбачик // Труды Четвертой научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский, 30 сентября - 4 октября 2013 г. Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Обнинск: ГС РАН, 2013. С. 103–108.

5. *Сенюков С.Л., Нуждина И.Н., Дрознина С.Я., Гарбузова В.Т., Кожевникова Т.Ю., Назарова З.А., Соболевская О.В.* Сейсмичность района вулкана Жупановский // Труды Пятой научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский, 27 сентября - 3 октября 2015 г. Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Обнинск: ГС РАН, 2015. С. 106–110.

6. *Чебров Д.В., Дрознина С.Я., Сенюков С.Л., Шевченко Ю.В., Митюшкина С.В.* Камчатка и Командорские острова // Землетрясения России в 2015 году. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. С. 67–73.