

СЕЙСМИЧНОСТЬ РАЙОНА ВУЛКАНА КИЗИМЕН (КАМЧАТКА), ПРЕДВАРЯВШАЯ И СОПРОВОЖДАВШАЯ ИЗВЕРЖЕНИЕ ВУЛКАНА В 2010-2012 ГГ., И ЕЁ СВЯЗЬ С РЕГИОНАЛЬНОЙ ТЕКТОНИКОЙ

П.П. Фирстов, А.А. Шакирова

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г.Петропавловск-Камчатский, firstov@emsd.ru

Введение

Вулкан Кизимен (абсолютная высота 2485 м, координаты вершины; 55.13° с.ш., 160.33° в.д.) – действующий вулкан эксплозивно-эффузивно-экструзивного типа, корово-мантийного питания, расположенный в восточной части Щапинского грабена Центральной Камчатской депрессии (рис. 1а). Как видно из тектонической схемы хребта Гамчен и долины реки левой Щапиной, район вулкана имеет сложную тектонику. Как видно на рис. 1б, постройка вулкана приурочена к системе крупноамплитудных сбросов северо-восточного простирания зоны сочленения Щапинского грабена с горстом хребта Тумрок. Севернее постройки вулкана серия разломов северо-западного простирания сечёт восточный борт горста хребта Тумрок и предположительно продолжается на дне Щапинского грабена, покрытого мощным чехлом четвертичных отложений [2].

Состав продуктов извержений – от плагиоклазовых базальтов до роговообманково-кварцсодержащих дацитов [10]. Предшествующее извержение вулкана Кизимен, по-видимому, произошло в 1927-1928 гг. [6].

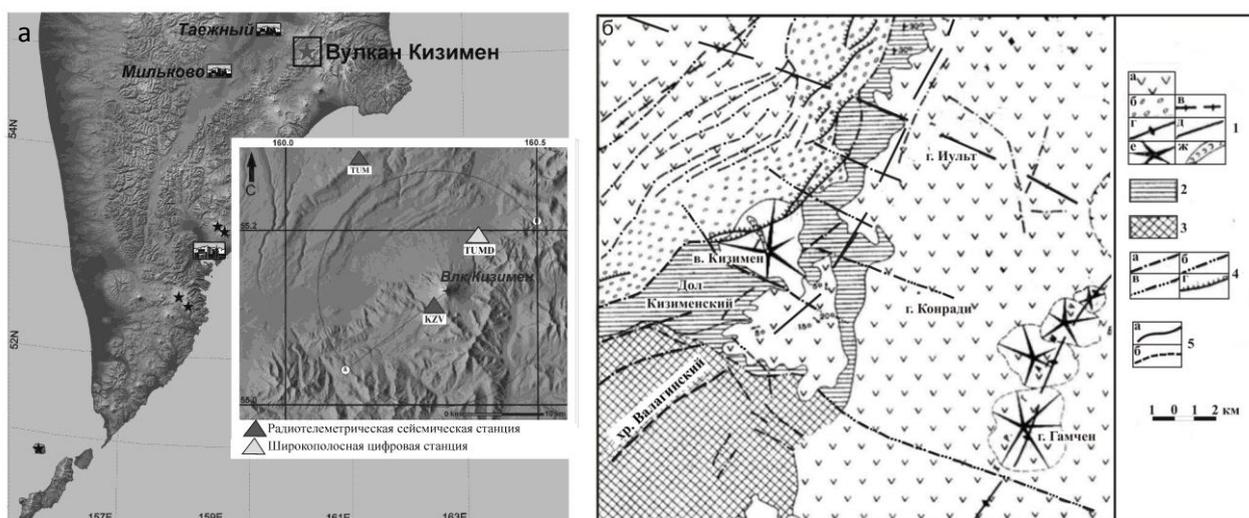


Рис. 1. Расположение и тектоническая схема района вулкана Кизимен.

а – расположение вулкана Кизимен на полуострове Камчатка, б – тектоническая схема районов хребта Гамчен и долины реки левой Щапиной [Камчатка..., 1974].

1 – верхний структурный этаж: а - покровные голоценовые отложения, б - грабен реки Щапиной, в - оси горстообразных поднятий, г - ось аккумулятивного поднятия хребта Гамчен, д - ось Тумрокско-Никольской поперечной зоны, е - голоценовые и верхнечетвертичные вулканы, ж - голоценовый лавовый поток; 2 – средний структурный этаж; 3 – нижний структурный этаж; 4 – разрывные нарушения: а - установленные, б - предполагаемые, в - предполагаемые продолжения разломов под четвертичными образованиями, г - разломы в голоценовых отложениях; 5 – геологические границы: а - установленные, б - предполагаемые.

В декабре 2010 г. после 82 лет молчания началось экструзивно-эффузивное извержение вулкана Кизимен, которому предшествовала вялая сейсмическая подготовка в течение более полутора лет. В марте 2011 г. на северо-восточном склоне вулкана было отмечено выжимание вязкого лавового потока [4]. Во время извержения вулкана Кизимен с декабря 2010 г. по февраль 2013 г. произошло формирование обширного поля отложений пирокластических потоков (ПП) и каменных лавин, а также вязкого лавового потока длиной около 5 км, который двумя языками покрыл восточный и северо-восточный склон вулкана.

На рис. 2 приведена схема отложений продуктов извержения вулкана Кизимен на 5 сентября 2011 г. выполненная В.Н. Двигало фотограмметрическим методом, на основе снимков спутника ASTER [5]. К этому времени образовались обширное поле отложений пирокластике в юго-восточном секторе постройки вулкана и маломощные отложения пепла в северо-западном секторе, а также лавовый поток, который имел длину около двух километров. Площадь отложений пирокластике оценивается в 11.3 км²

при объеме в 0.15 км^3 , а площадь лавового потока в 1.3 км^2 при объеме 0.06 км^3 . На 5 сентября 2011 г. длина лавового потока уже составляла около 4 км (устное сообщение В.Н. Двигало). На этом же рисунке приведены приблизительные контуры лавового потока 15 марта 2012 г., очерченные по спутниковому снимку, предоставленному Д.В. Мельниковым.

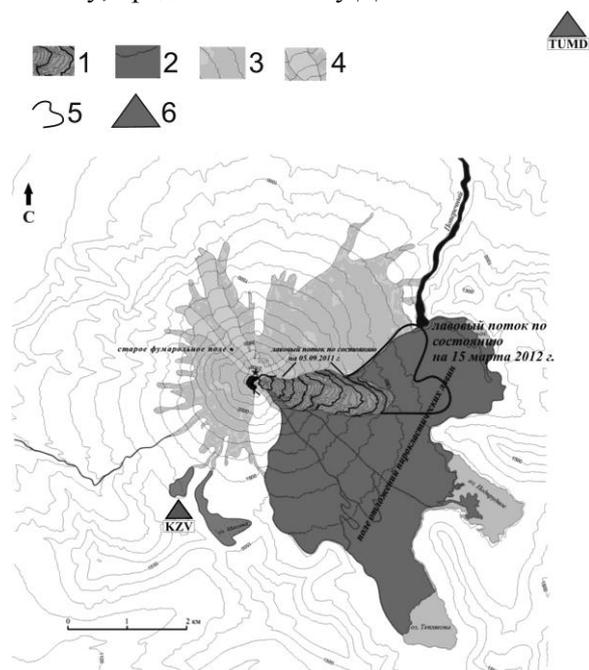


Рис. 2. Схема отложений извержения на 5 сентября 2011 г., составленная В.Н. Двигало [Мельников и др. 2011].

1 – лавовый поток, сформировавшийся к 05.09.2011 г.; 2 – основное поле отложений пирокластических лавин мощностью от первых до десятков метров; 3 – маломощные отложения пепла и перенесенного ветром материала пирокластических лавин; 4 – андезибазальтовые лавы четвертого цикла извержений; 5 – фронт лавового потока по состоянию на 15 марта 2012 г.; 6 – радиотелеметрические сейсмические станции.

Сейсмичность района, предвещающая извержение вулкана Кизимен в 2010 г.

В апреле 2009 г. было зафиксировано первое повышение уровня сейсмичности района вулкана Кизимен, а заметное усиление произошло в июле 2009 г. За период с 10 июля по 31 декабря 2009 г. было зарегистрировано более 8 тысяч вулcano-тектонических (ВТ) землетрясений с $K > 2$ ($K = \lg E$, где E – энергия в очаге в Дж) и максимальным $K = 9.9$, очаги которых располагались в районе постройки вулкана и его

подножия на глубинах 5 - 11 км. Сейсмичность вулкана в 2009 году намного превышала фоновую за период 2003 - 2008 гг. [1].

В настоящее время вблизи вулкана Кизимен работают три радиотелеметрических сейсмических станции (РТСС) Камчатского филиала ГС РАН (см. рис. 1а, врезка). Их координаты приведены в табл 1.

Таблица 1. Координаты ближайших к вулкану Кизимен РТСС и их высоты над уровнем моря.

Станция	Код	Широта, гр. с.ш.	Долгота, гр. в.д.	Высота, м	Рас-ние от кратера до РТСС, км	Дата установки
Кизимен	KZV	55.113	160.294	1509	2.6	Сентябрь 2009
Тумрок	TUM	55.283	160.146	1213	20.0	2003
Тумроцкие ист-ки	TUMD	55.203	160.399	486	6.0	Март 2011

Для сейсмичности этого района в 2010 г. представительным энергетическим классом землетрясений, оцениваемым по поперечным волнам, является $K_S = 5.8$ [7]. На рис. 2а показана карта эпицентров ВТ землетрясений с $K \geq 7$, произошедших в 2010 г. и предвещавших извержение вулкана, определенных сетью РТСС КФ ГС РАН [Кожвникова и др., 2012]. На карте черными кружками выделены очаги сравнительно «сильных» землетрясений с $K > 8$. Очаги этих землетрясений тяготеют к двум областям: одна область расположена к северо-западу от линии АВ (грабен реки Щапина), вторая к северо-востоку от постройки вулкана. На проекции гипоцентров землетрясений на вертикальную плоскость по сечению АВ (вдоль структуры) видно, что глубина почти всех очагов землетрясений не превосходит 8 км, и достаточно четко выделяется вторая область концентрации ВТ землетрясений с $K > 8$ (рис. 2б). Протяженность очаговой зоны ВТ землетрясений в этом направлении составляет около 20 км, а на проекции гипоцентров землетрясений на вертикальную плоскость по сечению ВГ (поперек структуры), она составляет 12 км с наибольшей глубиной очагов под постройкой вулкана (рис. 2в).

На рис. 2г показан кумулятивный график условных деформаций $\xi = \sum E^{0.5}, \text{ Дж}^{0.5}$ за период январь-декабрь 2010 г. К концу апреля накопленные условные деформации достигли значения $2 \cdot 10^6 \text{ Дж}^{0.5}$, после чего до октября наблюдался их монотонный рост, а затем возникают два интервала усиления сейсмической активности. Первый произошел во второй декаде октября, когда произошла серия мелкофокусных землетрясений с $K > 10$ и глубиной очага $H = -2 \div 4$ км (минус указывает на глубину очага выше уровня моря): 1 - 09 октября, $K=10.9$; 2 - 13 октября, $K=10.2$; 3 - 19 октября, $K=11.2$ ($M_c=5.2$). В ноябре 2010 г. произошла вторая активизация сейсмичности с четырьмя землетрясениями с $K > 10$ ($H = -2 \div 8$ км): 1 - 12 ноября, $K=10.1$; 2 - 16 ноября, $K_s=10.7$; 3 - 27 ноября, $K=11.4$ ($M_c=5.0$); 4 - 27 ноября, $K=11.9$, ($M_c=5.3$), что сопровождалось началом видимых проявлений вулканической активности, а две мощные эксплозии произошли 12 и 31 декабря 2010 г.

Суммарная величина условных деформаций за 2010 г. составила $8 \cdot 10^6$ Дж^{0.5}, а длительность сейсмической подготовки извержения вулкана Кизимен продолжалась один год и восемь месяцев. Возникновение ВТ землетрясений было связано с глубинными процессами, обусловленными перемещением и подъемом магмы, которые в дальнейшем привели к извержению вулкана.

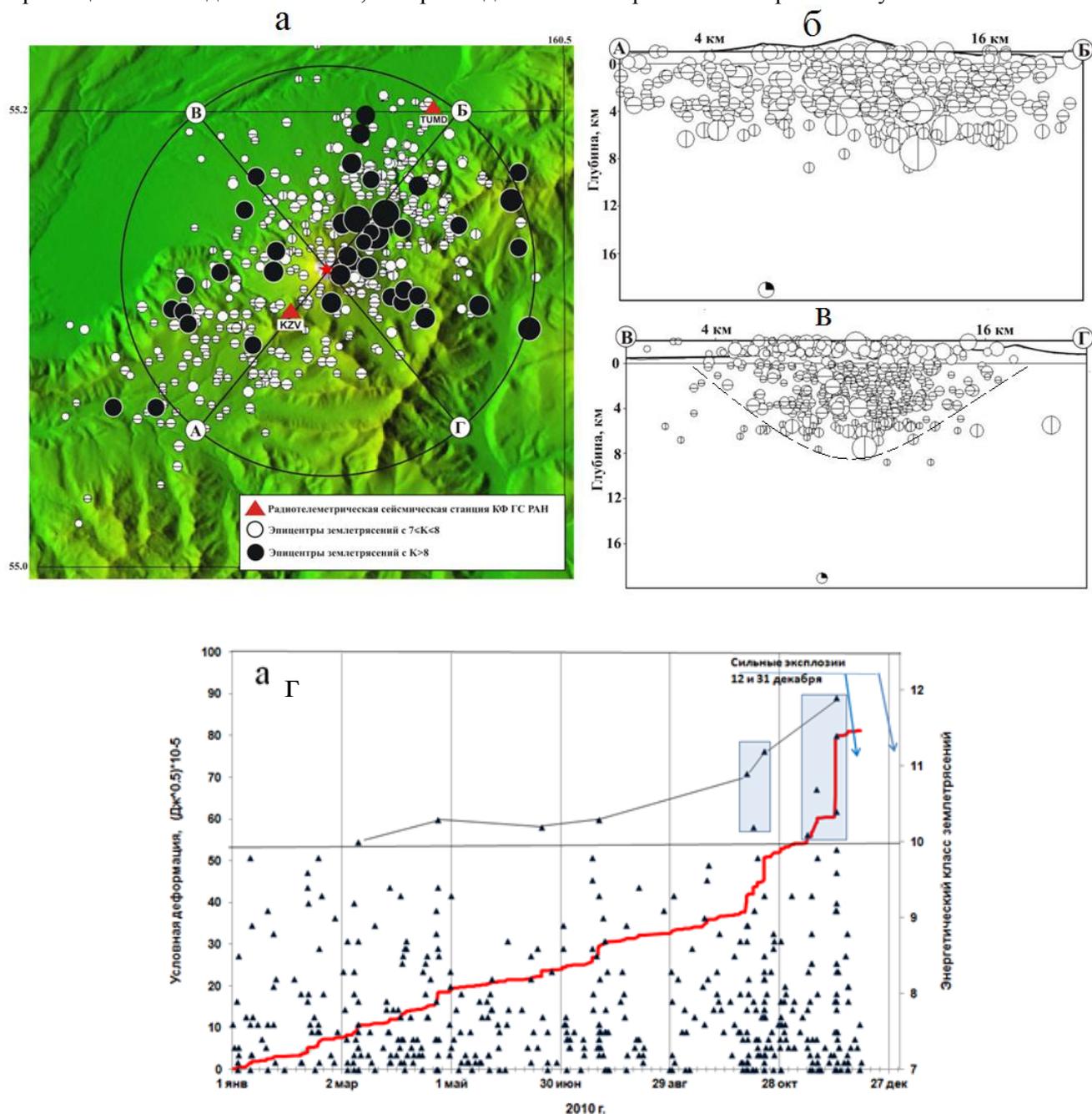


Рис. 2. Карта эпицентров очагов землетрясений $K > 7$ в 2010 г., предшествующих извержению вулкана Кизимен (а) и проекции гипоцентров землетрясений на вертикальную плоскость по сечениям АБ (б) и ВГ (в) и кумулятивный график условных деформаций и энергетический класс землетрясений, предварявших извержение вулкана Кизимен в 2010 г. (г). Прямоугольниками показаны интервалы усиления сейсмической активности.

Сейсмичность района вулкана Кизимен в период экстрезивно-эффузивного извержения в 2011 г.

ВТ землетрясения с глубиной очага менее 6 км продолжали регистрироваться и в период эффузивно-экстрезивно-эффузивного извержения в 2011 г. На рис. 3а показана карта эпицентров ВТ землетрясений с $K \geq 6.5$, произошедших в 2011 г., а на рис. 3б,в показаны проекции очагов землетрясений на две взаимно перпендикулярные плоскости (вдоль и поперек структуры). Как видно на рис. 3а,б группа очагов землетрясений с глубиной очага от 0 до 4 км пространственно совпадают с зоной разломов северо-западного простирания к северо-востоку от постройки вулкана. По-видимому, сейсмическая активизация этих структур связана с установлением изостатического равновесия, в связи с появлением

избыточной массы в виде отложений пирокластики и образованием лавового потока на восточном склоне вулкана. Так, на 5 сентября 2011 г., объем извергнутых продуктов оценивается в 0.2 км^3 , соответственно, вес их составил $\sim 4.5 \cdot 10^8$ тонн [5]. Соответственно, с медленным движением лавового потока вниз по склону происходило перераспределение поля напряжений в северо-восточной части постройки вулкана Кизимен, что, по-видимому, вызвало активизацию разломов к северо-востоку от вулкана в августе 2011 года (рис. 3).

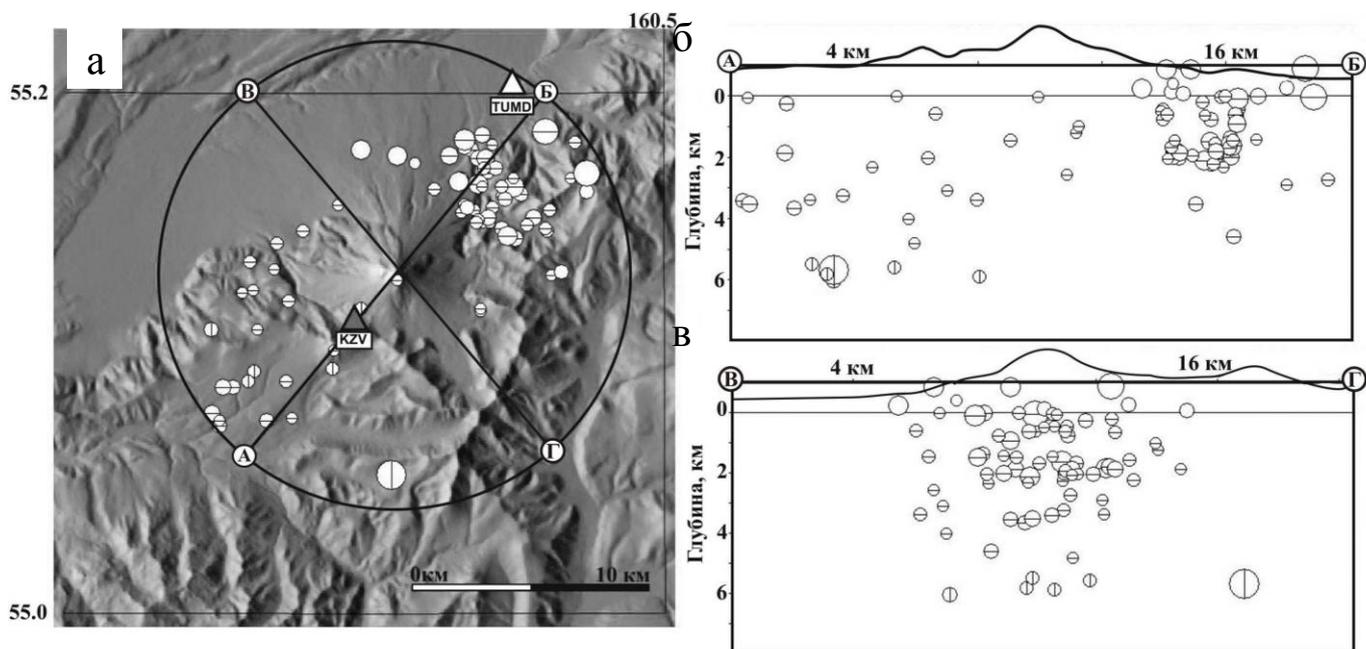


Рис. 3. Карта эпицентров очагов землетрясений с $K > 6.5$ в 2011 г., определенных сетью РТСС КФ ГС РАН, сопровождавших извержение вулкана Кизимен и проекции гипоцентров землетрясений на вертикальную плоскость по сечениям АБ (б) и ВГ (в).

Обсуждение результатов

Возникновение ВТ землетрясений в 2010 г. было связано с процессом, происходящим на глубине не более 8 км, обусловленным перемещением и подъемом магмы, что в дальнейшем привело к извержению вулкана. Пространственно-временная картина сейсмичности вулкана Кизимен указывает на перестройку поля напряжений района под воздействием поднимающейся вязкой магмы по дайке со сложной конфигурацией. По сравнению с катастрофическим извержением вулкана Шивелуч в ноябре 1964 г. [9] подготовка извержения происходила значительно медленней, что указывает на вялотекущие процессы в магматическом очаге. В работе [8] на основании петрографических данных сделан вывод, что под вулканом Кизимен на глубинах 4-6 км существует магматическая камера с температурой $750-825^\circ\text{C}$, заполненная риолитовым расплавом. Поступление порции базальтовой магмы в эту камеру, разбавляют и прогревают вещество очага, что приводит к извержениям этого вулкана. На взгляд авторов, сравнительно низкая температура расплава ответственна за длительную сейсмическую подготовку, обусловленную медленным подъемом магмы к дневной поверхности.

По вертикальным движениям земной поверхности, рассчитанным интерферометрическим методом по спутниковым снимкам [11], сделан вывод, что магма поднималась по дайке длиной 12 км с верхней кромкой на глубине 8 км. Это в первом приближении подтверждает идею впрыска в очаг с кислой магмой порции базальтовой, а также согласуется с сейсмическими данными.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 12-05-31186 «мол_а».

Список литературы

1. Гарбузова В.Т., Соболевская О.В. Сейсмическая активизация в районе вулкана Кизимен в 2008–2010 гг. // Материалы региональной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвящённой Дню вулканолога, 30 марта – 1 апреля 2011 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2011. С. 176.

2. Камчатка, Курильские и Камандорские острова (История развития рельефа Сибири и Дальнего Востока) / Под. ред. Лучицкого И.В. М.: Наука, 1974. 437 с.
3. Кожевникова Т.Ю., Толокнова С.Л., Напылова О.А. и др. Каталог землетрясений вулкана Кизимен в 2010 г. ($M \geq 3.3$) Отв. Нуждина И.Н. // Землетрясения России в 2010 г. Обнинск: ГС РАН, 2012. С. 172-174.
4. Малик Н.А., Овсянников А.А. Извержение вулкана Кизимен в октябре 2010 г. – марте 2011 г. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2011. №1. Вып. 17. С. 7-14.
5. Мельников Д.В., Двигало В.Н., Мелекесцев И.В. Извержение 2010-2011 гг. Камчатского вулкана Кизимен: динамика эруптивной активности и геолого-геоморфологический эффект // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2011. № 2. ВЫПУСК № 18.
6. *Пийп Б.И.* Вулкан Кизимен // Бюлл. вулканол. станций на Камчатке. 1946. № 13. С. 22-32.
7. Сеньюков С.Л., Нуждина И.Н., Дроздина С.Я. и др. Сейсмичность вулкана Кизимен Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды третьей научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 9-15 октября 2011 г. / Отв. ред. В.Н. Чебров. - Обнинск: ГС РАН, 2011. С. 144-148.
8. Трусов С.В., Плечов П.Ю. Физико-химические параметры магматической камеры под вулканом Кизимен (Камчатка) / Материалы IV международного совещания по процессам в зонах субдукции Японской, Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. Петропавловск-Камчатский. 2004. С.180-182.
9. Фирстов П.П. Реконструкция динамики катастрофического извержения вулкана Шивелуч 12 ноября 1964 г. на основании данных о волновых возмущениях в атмосфере и вулканическом дрожании // Вулканология и сейсмология. 1996. № 4. С. 48-63.
10. *Шанцер А.Е., Кутыев Ф.Ш., Петров В.С., Зубин М.И.* Вулкан Кизимен // Действующие вулканы Камчатки. Т. 2. М.: Наука, 1991. С. 18-23.
11. Ji L., Lu Z., Dzurisin D., Senyukov S. Pre-eruption deformation caused by dike intrusion beneath Kizimen volcano, Kamchatka, Russia, observed by InSAR // J. V. G. R. 2013, doi: [10.1016/j.jvolgeores.2013.02.011](https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2013.02.011)