



УДК 550.348.436+550.342

А. А. Шакирова, В. В. Ящук, П. П. Фирстов

*Камчатский филиал Геофизической службы РАН,  
г. Петропавловск-Камчатский  
e-mail: shaki@emsd.ru*

## **Применение выносных радиотелеметрических сейсмических каналов для создания локальных сетей на примере ПНВ-А «TUMD» в районе вулкана Кизимен, Камчатка**

Во время последнего извержения вулкана Кизимен в 2010–2013 гг., благодаря сети радиотелеметрических сейсмических станций (РТСС), были изучены пространственно-временные характеристики землетрясений, предварявшие и сопровождавшие это извержение. Вулканическая активность вулкана контролировалась видеокамерой, установленной на расстоянии 6 км от кратера. В районе вулкана работали три сейсмических станции на расстоянии 2,6, 6 и 20 км от кратера. В связи с недостаточной плотностью РТСС в этом районе представительный энергетический класс вулcano-тектонических (ВТ) землетрясений составил  $K_S = 5,8$ . В 2013 г. к автономному пункту наблюдений за вулканами (ПНВ-А) «TUMD» были подключены два выносных радиотелеметрических сейсмических канала (ВРСК) с целью отработки методики установки и проверки их работоспособности в суровых метеорологических условиях Камчатки. В данной работе приведено описание работы ПНВ-А «TUMD» и приведены результаты определения эпицентров ВТ землетрясений с привлечением данных, полученных на ВРСК.

### **Введение**

Данные о предпоследнем извержении вулкана датируются 1928 годом. В 2009 г. сейсмическая активность района вулкана резко изменилась, начали регистрироваться вулcano-тектонические (ВТ) землетрясения до нескольких десятков в сутки. В ноябре 2010 г. началось извержение explosивно-эффузивно-экструзивного типа, предварявшееся сильными землетрясениями с максимальным энергетическим классом  $K_S = 11,9$  ( $M_c = 5,3$ ) [3]. Извержение началось с мощных пепловых выбросов [6], предшествующих пирокластическим потокам. С февраля-марта 2011 г. началась эффузивная деятельность, которая продолжалась два с половиной года. В результате на северо-восточном склоне образовался лавовый поток площадью  $2,163 \text{ км}^2$  [1]. Движение лавового потока по склону сопровождалось необычной сейсмичностью длительностью от десятков минут до нескольких часов в виде квазипериодичного появления микроземлетрясений с амплитудой одного уровня (режим «drumbeats») [7, 8]. К настоящему моменту активность извержения почти угасла, но ВТ землетрясения до сих пор регистрируются.

Уникальная тектоника района вулкана Кизимен не имеет аналога на Камчатских вулканах. Серия разломов северо-западного простирания сечёт восточный борт горста хребта Тумрок и предположительно продолжается на дне Щапинского грабена, покрытого мощным чехлом четвертичных отложений. Сама постройка вулкана приурочена к систе-

ме крупноамплитудных сбросов северо-восточного простирания зоны сочленения Щапинского грабена с горстом хребта Тумрок [3].

К июлю 2011 г. в районе вулкана работали три РТСС: Тумрок (TUM) с 2003 г., Кизимен (KZV) с 2009 г.; Тумрокские источники (TUMD) с 2011 г.; расположены они в 2,6, 6 и 20 км от вулкана соответственно (рис. 1). Для сейсмичности этого района представительным энергетическим классом землетрясений, оцениваемым по поперечным волнам  $S$  ( $K = \lg E$ , где  $E$  — энергия в очаге в Дж) является  $K_S = 5,8$  [5].

### **Создание локальных сетей с применением выносных радиотелеметрических сейсмических каналов на ПНВ-А «TUMD»**

В октябре 2013 г. в районе автономного пункта наблюдения за вулканами (ПНВ-А) TUMD были установлены два выносных радиотелеметрических сейсмических канала (ВРСК) с целью отработки методики установки и проверки их работоспособности в суровых метеорологических условиях, которые представляли экспериментальную локальную сеть. В дальнейшем планируется перенос этих ВРСК непосредственно на склоны в. Кизимен, с целью детализации локальной сейсмичности в районе постройки вулкана. Планируется создание ВРСК на наиболее активных вулканах Камчатки, в районах которых действуют цифровые станции, что позволит более детально исследовать динамические и кинематические параметры слабых вулканиче-



**Рис. 1.** Расположение вулкана Кизимен на Камчатке. На врезке показаны ближайшие к вулкану сейсмические станции КФ ГС РАН: KZV – Кизимен, TUMD – Тумрокские источники, TUM – Тумрок.

ских землетрясений, сопровождающих эксплозивную и эффузивную формы извержений.

Необходимым условием создания ВРСК является наличие центрального пункта сбора информации в виде цифровой сейсмической станции со спутниковым каналом передачи данных. Блок-схема ПНВ-А «TUMD» и двух ВРСК показана на рис. 2. В качестве датчика на ВРСК используется модернизированный сейсмометр СМ-3 (вертикальная компонента Z) с последующим усилением сигнала и модуляцией сигнала с помощью блока сейсмических каналов (БСК). Аналоговые данные передаются по радиоканалу на приёмник, установленный на станции TUMD.

Принимаемый сигнал демодулируется с помощью четырехканального стандартного демодулятора и оцифровывается шестиканальным дигитайзером Guralp DM-24. Также, на свободные каналы дигитайзера поступают данные с микробарографа ISGM-03M, что позволяет осуществлять мониторинг эксплозивной активности вулкана. В режиме реального времени, по спутниковому каналу данные передаются на приемный центр в г. Петропав-

ловск-Камчатский. Плюсами такой сети являются её простота в установке и относительная дешевизна. Общий вид отдельных узлов ПНВ-А «TUMD» показан на рис. 3.

#### Использование данных с ВРСК для определения эпицентров ВТ землетрясений района в. Кизимен

С октября 2013 г. по февраль 2014 г. с использованием двух ВРСК были определены координаты очагов 20 ВТ землетрясений с энергетическим классом  $3,4 \leq K_S \leq 7,9$ , и проведено сравнение с определением координат без учёта записей на ВРСК. Определение гипоцентров происходило с использованием программы DIMAS [2]. На рис. 4а жёлтым цветом показаны эпицентры землетрясений, определённых по сети РТСС (KZV, TUMD, TUM), сиреневым — с добавлением данных ВРСК (TUMD1 и TUMD2), а на рис. 4б приведена проекция очагов землетрясений на плоскость АВ.

Добавление данных с TUMD1 и TUMD2 в определении координат очагов не показали больших расхождений, так как разнос ВРСК составлял около 500 м от TUMD. Средние смещения большинства

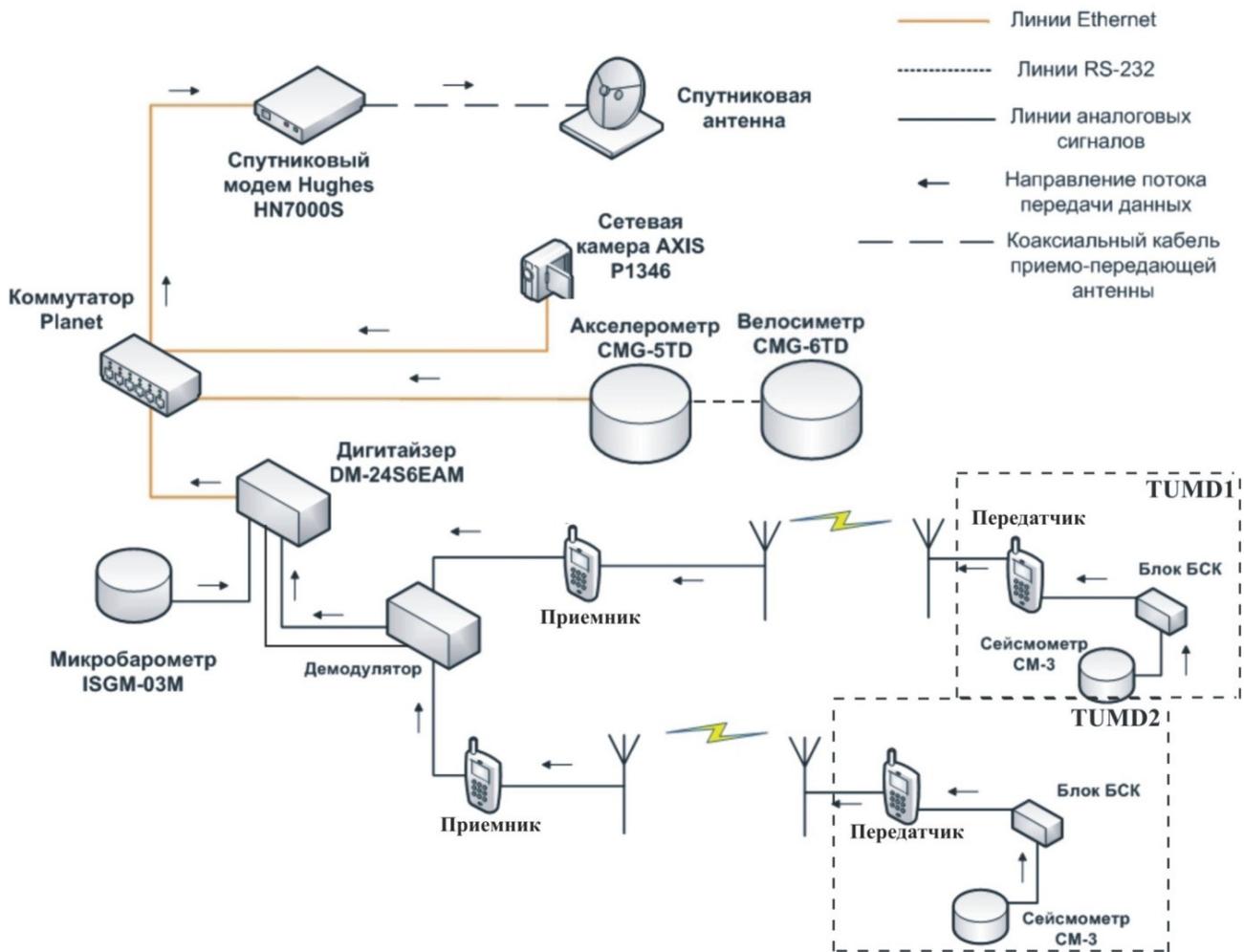


Рис. 2. Блок-схема автономного пункта наблюдений за вулканами TUMD с двумя ВРСК TUMD1 и TUMD2.



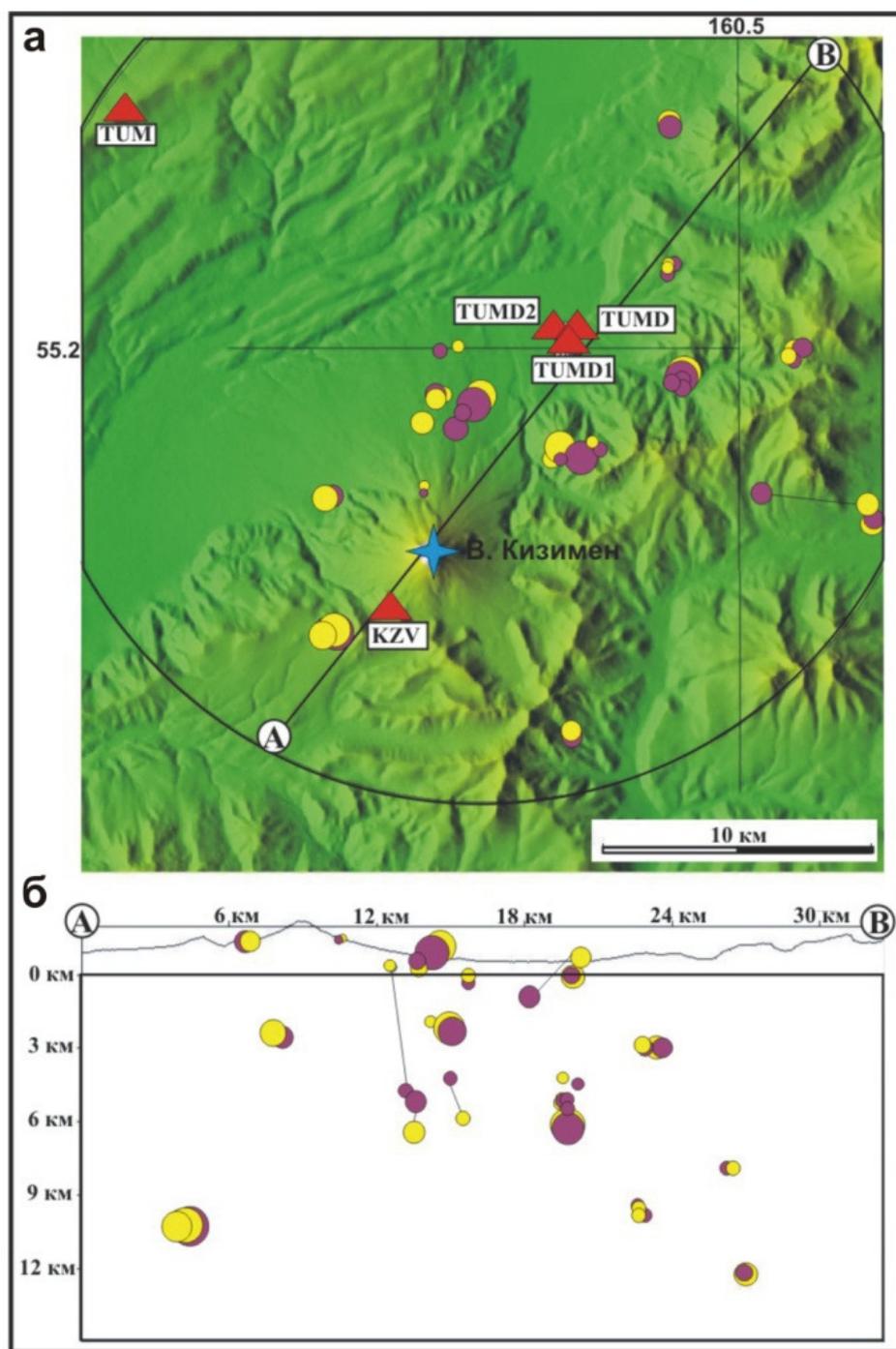
Рис. 3. Общий вид отдельных узлов ПНВ-А «TUMD»: а – ПНВ-А «TUMD», на заднем плане в. Кизимен; б – используемая аппаратура на ВРСК TUMD1: 1 – комплект батарей; 2 – сейсмоприемник CM-3; в – передающая антенна на ВРСК TUMD1.

гипоцентров по вертикальной и по горизонтальной плоскостям составили  $\sim 1$  км.

Пример ВТ землетрясения, произошедшего 1 ноября 2013 г. северо-восточнее влк. Кизимен с энергетическим классом  $K_S = 5,6$ , приведён рис. 5. Для определения координат очага применялись данные сейсмических станций TUMD, KZV и двух ВРСК

TUMD1 (канал SS2) и TUMD2 (канал SS3). Вступления S-волн на всех сейсмических каналах чёткие, вступления S-волн на ВРСК трудно различимы, так как в качестве датчиков использовались вертикальные сейсмометры.

Конфигурация сети выносных станций в районе влк. Кизимен должна быть такой, чтобы наилуч-



**Рис. 4.** Карта эпицентров ВТ землетрясений района в. Кизимен за период октябрь 2013 – февраль 2014 гг. (а) и проекция очагов землетрясений на плоскость АВ (б).

шим образом регистрировать вулканическую сейсмическую активность, то есть обеспечивать как можно более точную локацию гипоцентров, и не допускать пропусков событий. Поэтому желательно добиться максимального азимутального охвата станциями постройки вулкана. С другой стороны, следует выбрать оптимальное расстояние для расстановки приборов, чтобы не допустить систематического превышения динамического диапазона или пропус-

ка слабых и умеренных событий. Опыт регистрации сейсмических сигналов в 2010–2013 гг. показал, что станция KZV, расположенная на расстоянии около 2,5 км от вершины вулкана удовлетворительно фиксировала абсолютное большинство событий. На это значение можно ориентироваться при планировании данной выносной сети. Таким образом, как минимум один выносной пункт (KZV1) следует установить на северный или северо-западный склон вулкана

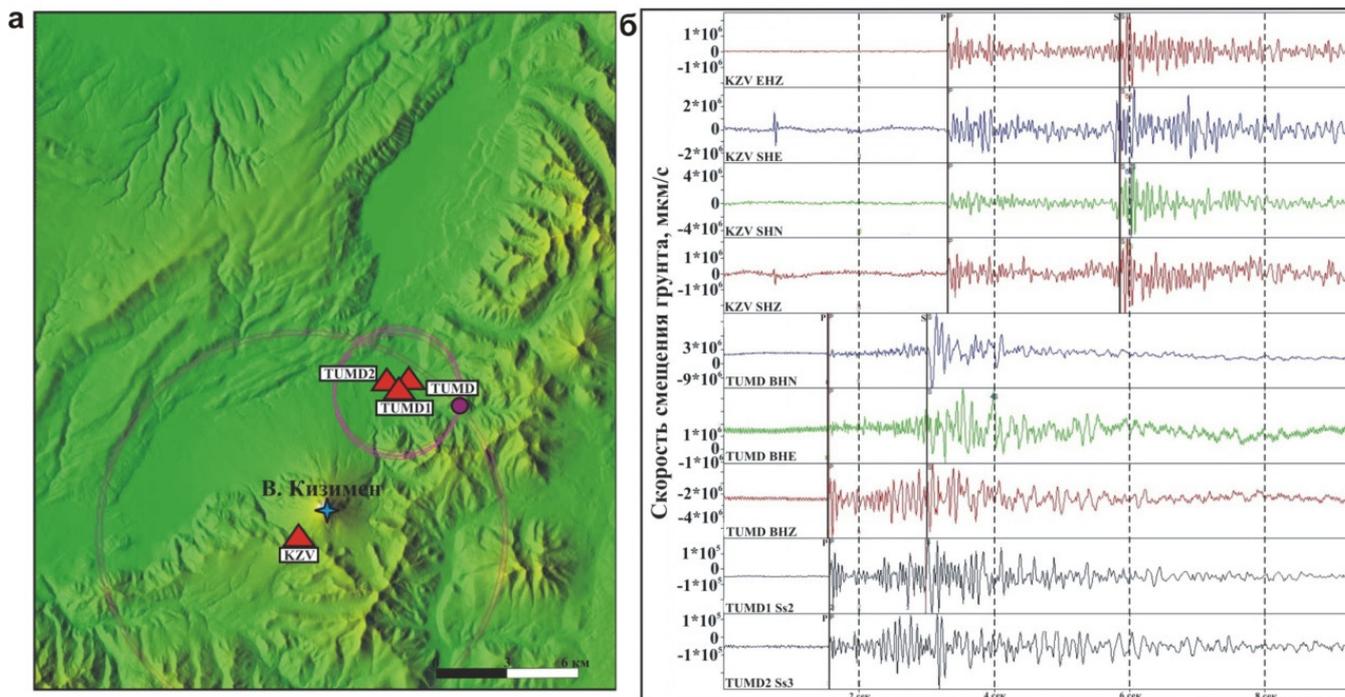


Рис. 5. Землетрясение 1 ноября 2013 г. с энергетическим классом  $K_S = 5,6$ : а – эпицентр землетрясения, б – сейсмическая запись землетрясения на РТСС KZV, TUMD и ВРСК TUMD1 и TUMD2.



Рис. 6. Планируемые места установки ВРСК в районе влк. Кизимен. KZV – радиотелеметрическая сейсмостанция, KZV1 и KZV2 – ВРСК.

на удалении  $\sim 2$  км от вершины вулкана на сбросе (рис. 5). Следующий пункт (KZV2) планируется установить недалеко от нового лавового потока северо-восточнее вершины.

В реальных условиях значительную роль в установке ВРСК будут играть такие факторы, как радиовидимость с опорной цифровой станцией TUMD, обеспечение вулканической безопасности места установки ВРСК, а также доступность обслуживания при дальнейшей его эксплуатации.

### Выводы

Выносные радиотелеметрические сейсмические каналы могут быть установлены в районах вулканических построек, где имеются цифровые сейсмические станции, создадут локальную сеть, которая позволит определять положения гипоцентров местных микроземлетрясений и слабых вулканических землетрясений, в том числе и эксплозивных. Это даст возможность обрабатывать землетрясения более низких энергетических классов, повысить качество их локализации, и изучать микросейсмичность района с большей детальностью. Особенно это важно для вулканов, находящихся в стадии извержения.

Во время извержения влк. Кизимен в 2011–2012 гг. для локализации микроземлетрясений режима «drumbeats» не хватало данных, так как большинство микроземлетрясений регистрировались только двумя РТСС (KZV и TUMD). Режим «drumbeats» сопровождал выжимание вязкой андезитовой магмы, с формированием экструзивного купола, и движение лавового потока по склону вулкана. Такая сейсмичность наблюдалась впервые при извержениях вулканов Камчатки [7]. На качественном уровне изменение пространственного расположения очагов микроземлетрясений режима «drumbeats» в работах [8, 9] было оценено по изменениям времени S-P на двух РТСС, на которых они регистрировались. Наличие локальной сети позволило бы более корректно оценить пространственное расположение очагов и более точно увязать их

с пространственным положением границы лавового потока, где, по-видимому, и генерировались они.

Достоинствами рассмотренной локальной сети являются её низкая стоимость, надежность, автономность, простота в установке и обслуживании. В районе вулкана Кизимен рекомендуется установить ВРСК на северо-западном и северо-восточном склонах вулкана на удалении  $\sim 2$  км от вершины вулкана (см. рис. 5).

Авторы выражают благодарность Р. А. Коневу и А. А. Коневу за помощь в установке выносных пунктов, а также Д. В. Дрознину за модернизацию программы DIMAS для обработки сейсмических данных.

### Список литературы

1. Двигало В. Н., Мелекесцев И. В., Шевченко А. В., Свирид И. Ю. Извержение 2010–2012 гг. вулкана Кизимен — самое продуктивное (по данным дистанционных наблюдений) на Камчатке в начале XXI века. Часть I. Этап 11 ноября 2010 г. -11 декабря 2011 г. г. // Вулканология и сейсмология, 2013, № 6, С. 3-21.
2. Дрознин Д. В., Дрознина С. Я. Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Сейсмические приборы. 2010. Том. 46. № 3. С. 22–34.
3. Камчатка, Курильские и Командорские острова (История развития рельефа Сибири и Дальнего востока), ред. Лучицкий И. В.. М.: Наука, 1974. 437 с.
4. 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.
5. Сенюков С. Л., Нуждина И. Н., Дрознина 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. Чебров В. Н.. — Обнинск: ГС РАН, 2011. С. 144–148.
6. Фирстов П. П., Махмудов Е. Р. Оценка количества пепла, выбрасываемого в атмосферу при сильных эксплозивных извержениях андезитовых вулканов на основании волновых возмущений в атмосфере // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды третьей научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 9–15 октября 2011 г. / Отв. ред. Чебров В. Н.. — Обнинск: ГС РАН, 2011. С. 159–163.
7. Фирстов П. П., Шакирова А. А. Сейсмические явления, сопровождавшие извержение вулкана Кизимен в 2011 г. // Вестник Краунц. Науки о Земле. 2011. Петропавловск-Камчатский. № 2. Выпуск № 18. — С. 7–13.
8. Фирстов П. П., Шакирова А. А., Арбугаева О. В. Активность вулкана Кизимен в период май 2012 г.- март 2013 г. по сейсмическим данным и видеонаблюдениям // Материалы конференции, посвящённой Дню вулканолога «Вулканизм и связанные с ним процессы». Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2013. С. 130–138.
9. Шакирова А. А. Движение лавового потока вулкана Кизимен как генератор режима «drumbeats» // Материалы X региональной молодёжной научной конференции 28–28 ноября 2012 г. 2012. Петропавловск-Камчатский. С. 127–139.