

УДК 550.34.06, 550.8.05

АНАЛИЗ СМЕЩЕНИЯ ГИПОЦЕНТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В РАЙОНЕ ВУЛКАНА КИЗИМЕН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ В 2009 -2011 гг.

Шакирова А.А., Кожевникова Т.Ю.

Камчатский филиал Геофизической службы РАН

В работе рассмотрена сейсмичность в районе вулкана Кизимен по данным радиотелеметрических сейсмических станций КФ ГС РАН. Представлены сравнительные результаты определения положения гипоцентров землетрясений при помощи программы “DIMAS” с использованием записей землетрясений: а) на всех сейсмических станциях, зарегистрировавших сигнал; б) на ближайших от вулкана станциях; в) на самой ближней станции «KZV» («Кизимен») поляризационным методом за период с ноября 2009 по март 2011 гг. Показана возможность применения поляризационного метода для изучения пространственно-временных закономерностей локальной сейсмичности по данным одной сейсмостанции. Выделены две зоны локализации сейсмичности в районе вулкана: вертикальная зона непосредственно под вулканом, и наклонная зона в юго-западном направлении от вулкана.

Ключевые слова: сейсмичность, землетрясение, сейсмический сигнал, поляризационный метод, гипоцентр, смещение.

Географическое положение вулкана

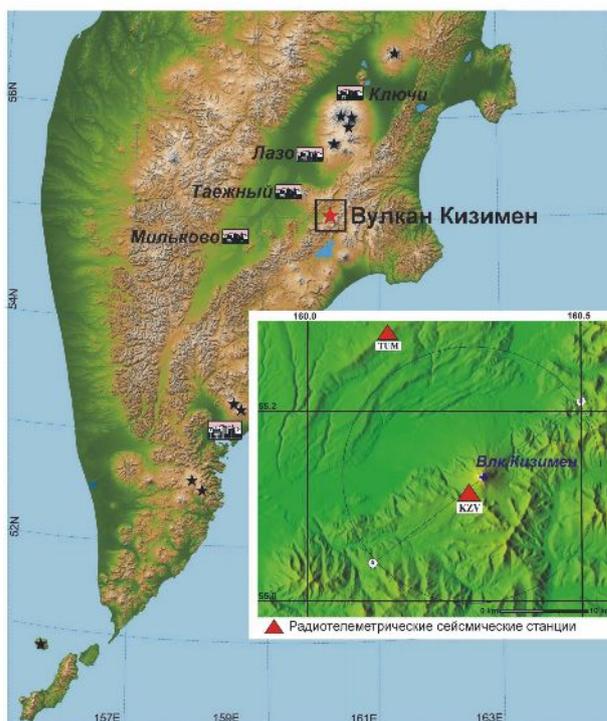


Рис. 1. Расположение вулкана Кизимен.

Вулкан Кизимен ($55^{\circ}10'$ с.ш., $160^{\circ}32'$ в.д., абсолютная высота 2485 м) является самым южным из действующих вулканов Центральной Камчатской депрессии (рис. 1). В настоящее время вулкан находится в стадии извержения с выбросами пепла. С конца апреля 2009 г. в районе вулкана начался рой землетрясений, который предвещал извержение, начавшееся в конце ноября 2010 г.

в виде отдельных эксплозий (устн. сообщ. наблюдателей с турбазы «Тумрок») и продолжающееся до настоящего времени.

Сравнительные результаты определения положения гипоцентров землетрясений в районе вулкана Кизимен за период с апреля по ноябрь 2010 г.

Для определения положения гипоцентров землетрясений с энергетическими классами $K_s > 9$ за период с апреля по ноябрь 2010 г. применялась программа “DIMAS” в трех вариантах: а) с использованием записей всех сейсмических станций, регистрирующих сигнал; б) с использованием записей ближайших к вулкану станций; в) с использованием поляризационного метода по записям ближайшей радиотелеметрической сейсмической станции (РТСС) «Кизимен» (KZV), расположенной на Ю-З склоне на высоте 1.5 км над уровнем моря на расстоянии 2.5 км от вершины вулкана и имеющей координаты $55^{\circ}112'$ с.ш., $160^{\circ}294'$ в.д.

В связи с отсутствием детального скоростного разреза для данного района использовался региональный годограф.

Каждым из вариантов было обработано 27 землетрясений. При использовании данных по всем сейсмическим станциям, регистрирующим сигнал (от 25 до 45 сейсмостанций, максимальная удаленность от вулкана 500 км), гипоцентры землетрясений локализовались на глубинах от -2.5 до 7.5 км. Оказалось, что из 27 определенных гипоцентров для 4 глубина очага была выше гипсометрического уровня, что не соответствует действительности. Эпицентры обработанных землетрясений, в основном, располагались в радиусе 12 км от вулкана (рис. 2).

Во втором варианте при использовании записей с ближайших станций (6 РТСС на расстоянии 100-200 км от вулкана), гипоцентры локализовались на глубинах от 1.5 до 9 км в радиусе 10 км от вулкана (рис. 2).

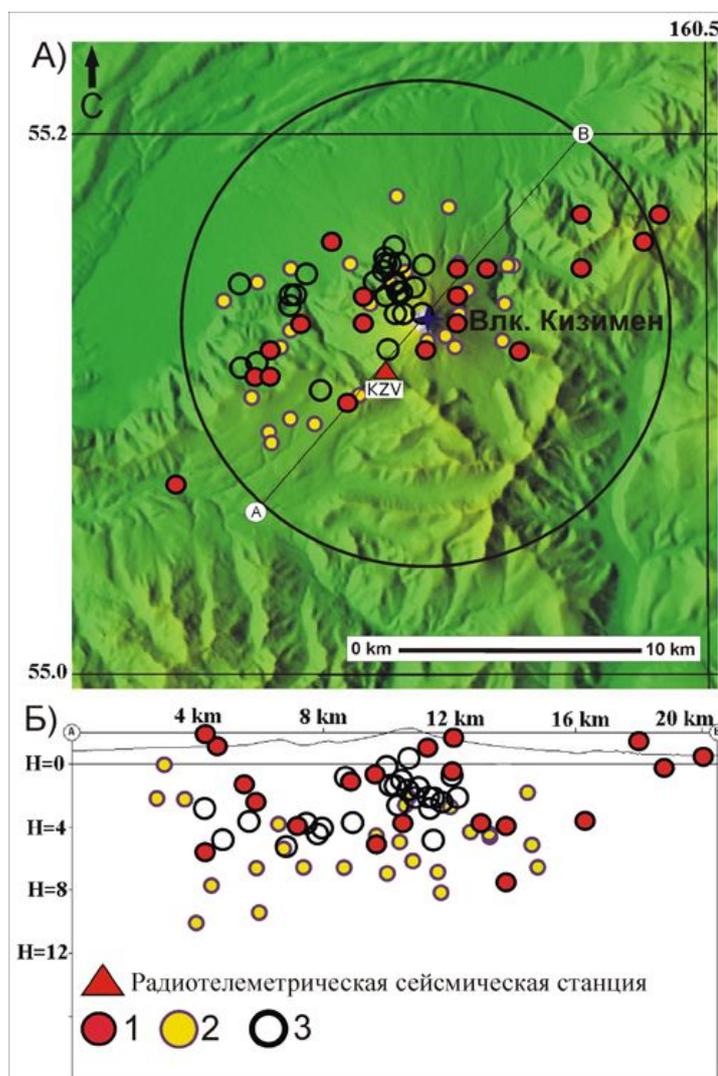


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений района в. Кизимен (А) с энергетическими классами $K_s > 9.0$ за период с апреля по ноябрь 2010 г., вертикальный разрез вдоль линии АВ (Б).

1 - определения, выполненные с помощью данных максимального количества сейсмических станций; 2 - определения, выполненные с помощью данных ближайших к вулкану станций; 3 - определения, выполненные с помощью применения поляризационного метода.

В третьем варианте использовался поляризационный метод, который позволяет определить положение гипоцентра землетрясения по записям на одной сейсмостанции. В этом случае гипоцентры локализовались на глубинах от -1 до 8 км в северо-западном и западном направлениях в радиусе 10 км от вулкана (рис. 2).

На рис. 3 представлено смещение положений гипоцентров землетрясений при применении трех методов на примере трех сейсмических событий в районе в. Кизимен за период с апреля по ноябрь 2010 г.

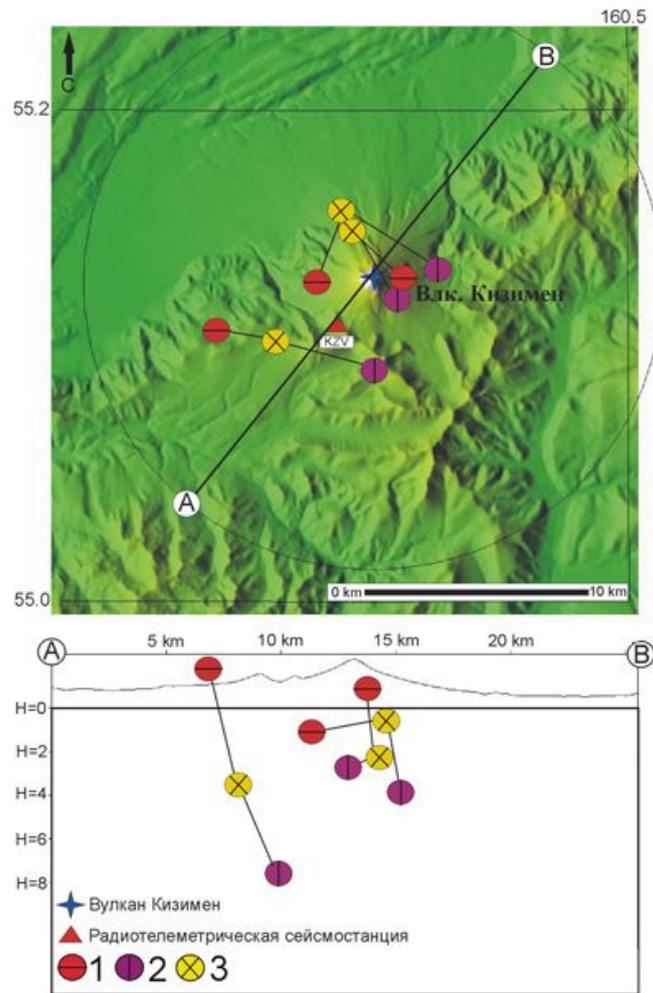


Рис. 3. Карта смещения положения гипоцентров землетрясений с района влк. Кизимен на примере трех сейсмических событий. Вертикальный разрез вдоль линии АВ. 1 - определения, выполненные с помощью данных максимального количества сейсмических станций; 2 - определения, выполненные с помощью данных ближайших к вулкану станций; 3 - определения, выполненные с помощью применения поляризационного метода.

В результате исследований была выявлена закономерность, что при применении стандартной методики обработки сейсмических записей с использованием записей максимального количества сейсмостанций гипоцентры локализуются ближе к поверхности, а также на глубинах выше уровня моря.

При использовании записей с ближайших РТСС гипоцентры локализуются на глубине до 10 км. При определении гипоцентров с применением поляризационного метода по записям РТСС KZV гипоцентры локализуются на глубинах от -2 до 8 км.

В результате сравнения полученных результатов максимальные смещения гипоцентров как по вертикальной, так и по горизонтальной плоскостях составили ~ 4 км. Гипоцентры всех землетрясений, обработанных поляризационным методом, сместились на запад, северо-запад от станции «KZV» (систематическая ошибка). Соответственно, поляризационный метод не позволяет с высокой точностью определять положения гипоцентров землетрясений в районе в. Кизимен, тем не менее, этот метод может быть применен для мониторинга динамики слабой сейсмичности района вулкана по данным одной РТСС.

Особенности пространственно-временной слабой сейсмичности по данным РТСС KZV за ноябрь 2009 - февраль 2011 гг.

Локальная сеть в районе в. Кизимен, состоящая из двух радиотелеметрических сейсмостанций (рис.1), не позволяла определять положения гипоцентров слабых землетрясений. При этом слабые сейсмические события ($K_s < 3.5$), регистрируемые РТСС KZV, не регистрируются РТСС TUM, расположенной в 20 км от в. Кизимен. Как показано выше, поляризационный метод с использованием записей РТСС KZV дает возможность следить за слабой сейсмичностью района. Были обработаны 780 записей землетрясений энергетического класса $K_s < 5$ с четкими вступлениями Р-волн с S-P от 0.7 до 1.5 с, происходящих в районе в. Кизимен за период ноябрь 2009 - февраль 2011 гг. (рис. 4).

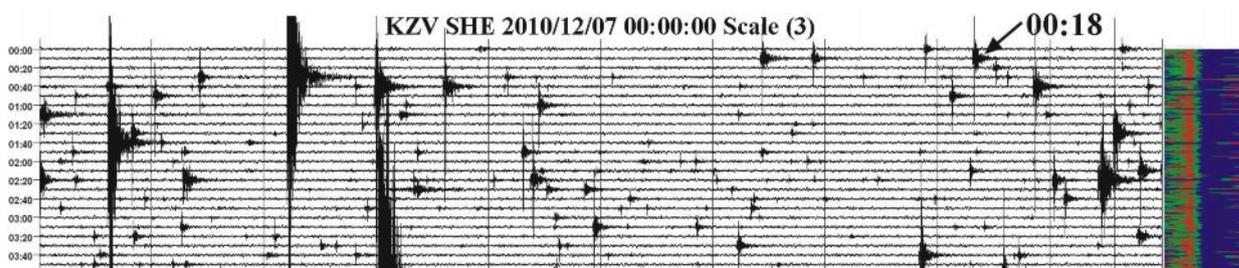


Рис. 4. Фрагмент сейсмограммы РТСС KZV за 7 декабря 2010. Выбор сейсмического события.

Выбирались землетрясения, не имеющие ограничений амплитуд первых вступлений по данным РТСС «KZV» с четкими вступлениями Р-волн,

по всем трем составляющим (SHE, SHN, SHZ), по которым определялся азимут на источник и угол выхода сейсмического луча. Пример землетрясения, которые подвергались обработке, приведен на рис. 5.

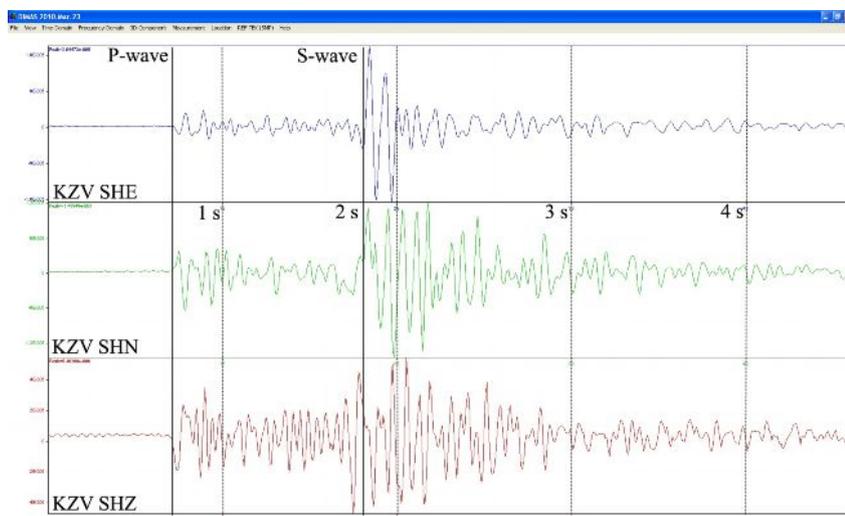


Рис. 5. Запись землетрясения из района в. Кизимен с $K=4.6$, произошедшего 7 декабря 2010 в 00:18

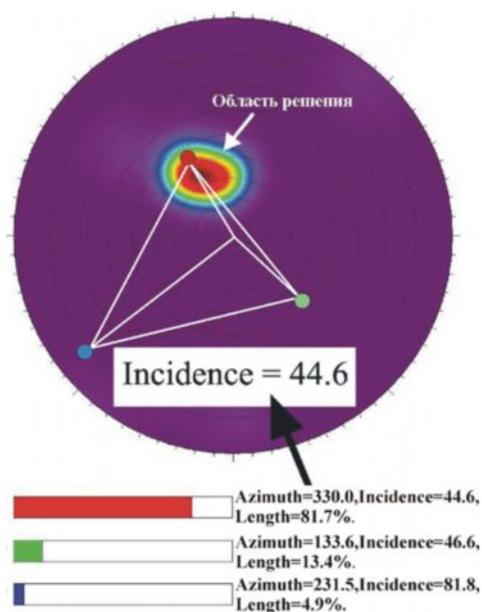


Рис. 6. Сетка Вульфа и оси виртуального эллипсоида поляризации.

По трем сейсмическим каналам (SHE, SHN, SHZ) выделялась очаговая область источника по вступлению Р-волны. Математически задача в программе DIMAS [1] сводится к определению вероятного положения трех главных направлений смещений (рис. 6). На сетке Вульфа отображены три оси виртуального эллипсоида поляризации. Направление наибольшей оси дает азимут на источник. Имея разницу вступлений продольных и поперечных волн S-P,

рассчитывались координаты эпицентра. В программе DIMAS не заложен алгоритм расчета глубины гипоцентра при обработке поляризационным методом, поэтому она находилась по формуле:

$$H = \cos \gamma \cdot S - 1.5,$$

где H – глубина, км; $\cos \gamma$ – косинус угла выхода оси поляризации (incidence); S - расстояние между эпицентром и и РТСС КЗУ, км; 1.5 – высота станции над уровнем моря, км.

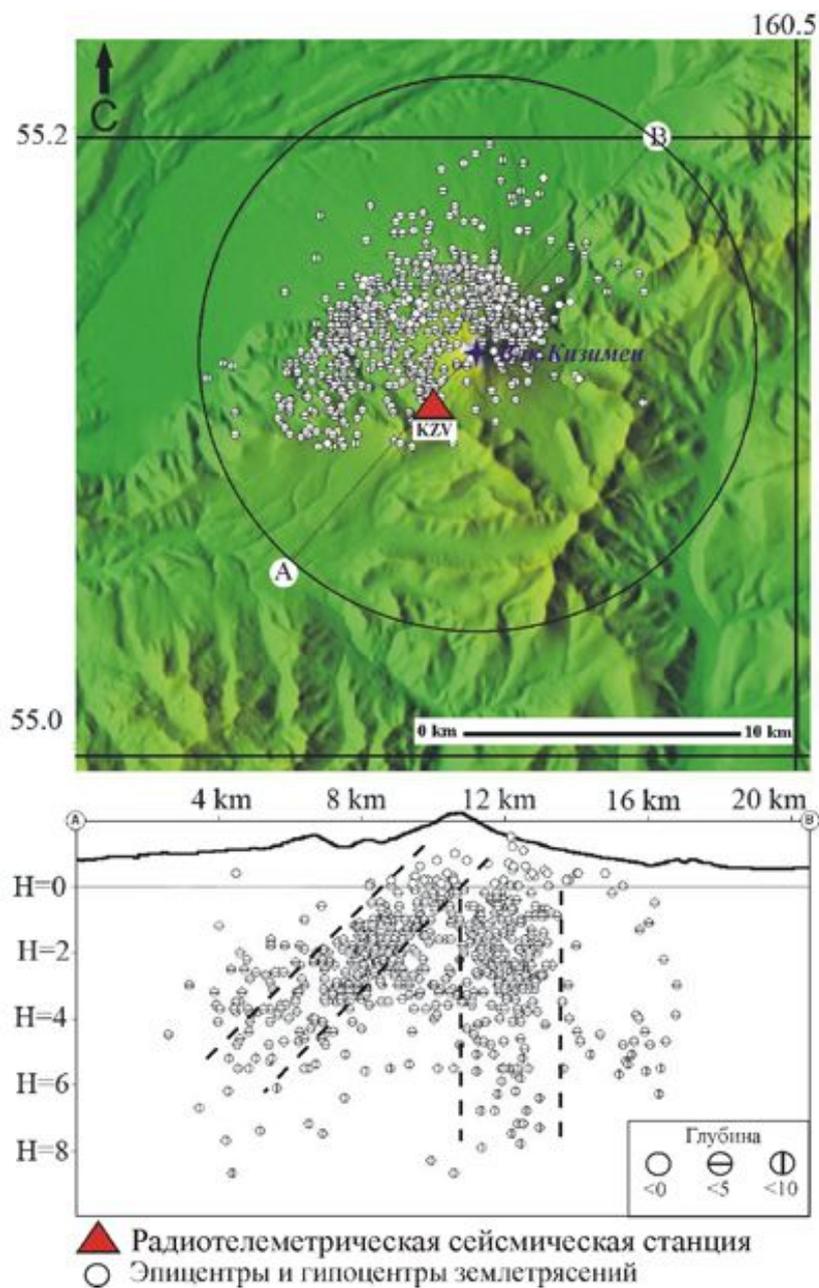


Рис. 7. Карта расположения эпицентров и гипоцентров землетрясений в районе влк. Кизимен с энергетическими классами $K_s < 5$ за период с ноября 2009 по февраль 2011 гг. Разрез распределения гипоцентров землетрясений вдоль линии АВ.

В результате обработки 780 землетрясений, произошедших в районе в. Кизимен в период с октября 2009 по февраль 2011 гг. был получен ката-

лог и построена карта расположения эпицентров землетрясений и разрез распределения гипоцентров вдоль линии АВ (рис. 7).

Результаты исследований

В результате проведенных исследований было установлено, что эпицентры землетрясений расположены преимущественно в юго-западном, западном и северо-западном направлениях от вулкана (рис. 7). Очаги землетрясений располагаются на глубинах от -1.5 до 8 км, а основная масса приходится на глубины 0-5 км. При удалении землетрясений от вулкана в юго-западном направлении глубины гипоцентров увеличиваются. Как видно на рис.7, по концентрации очагов землетрясений выделяются две зоны: одна в виде наклонной области располагается в юго-западном направлении от вулкана, второе в виде вертикальной колонны непосредственно под вулканом.

С ноября 2009 по сентябрь 2010 гг. гипоцентры землетрясений локализовались на глубинах от 0 до 5 км. В октябре 2010 г. появились более глубокие землетрясения с глубиной до 8 км (рис. 8). В декабре 2010 г. – начале января 2011 г. стали регистрироваться события, которые происходили в постройке вулкана (рис. 9).

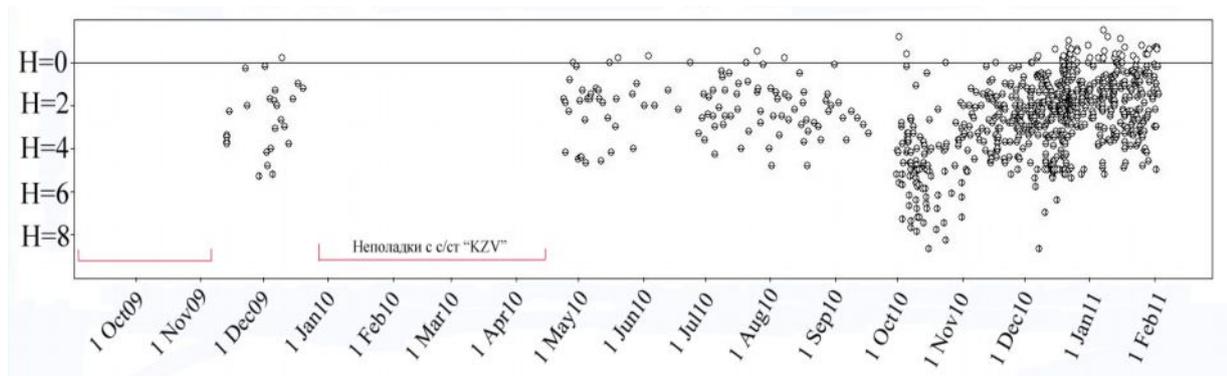


Рис. 8. Миграция положения гипоцентров землетрясений в районе влк. Кизимен в период с ноября 2009 по февраль 2011 гг.

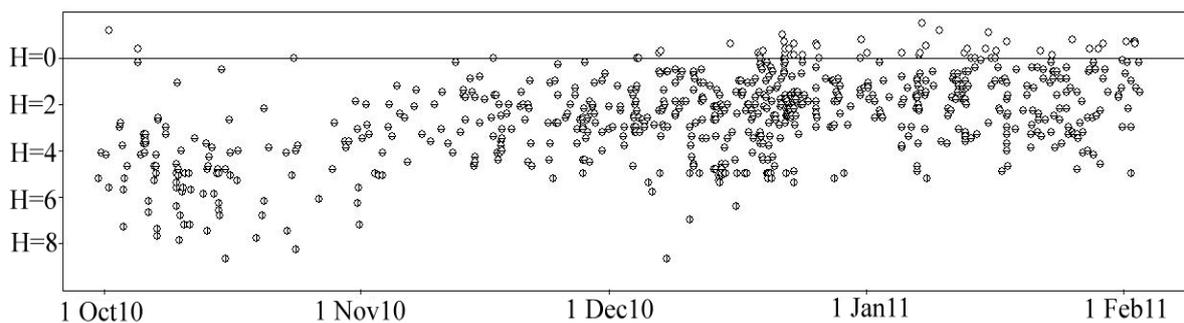


Рис. 9. Миграция положения гипоцентров землетрясений в районе влк. Кизимен в период с октября 2010 по февраль 2011 гг.

С конца декабря 2010 г. стали регистрироваться землетрясения III и IV (взрывные) типов по классификации П. И. Токарева [2], которые, как правило, сопровождают вулканические извержения. Сильная эксплозия произошла 31 декабря 2010 г., взрывная волна от которой зафиксировалась на станции, в п. Паратунка в 280 км от вулкана (устное сообщение Махмудова Е.Р.)

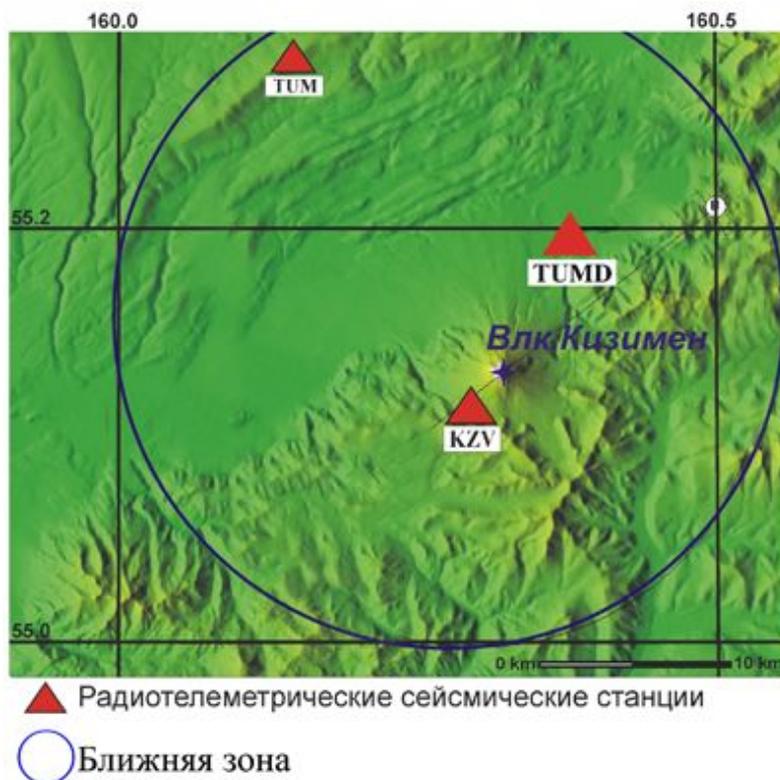


Рис. 10. Сейсмические станции в районе влк. Кизимен.

В конце марта 2011 г. в районе турбазы «Тумрок» к северу от в. Кизимен в ближней зоне на расстоянии 7 км силами лаборатории РТСС под руководством В.В. Ящука была установлена широкополосная цифровая станция «TUMD» (рис. 10), которая позволила определять характеристики землетрясений III типа.

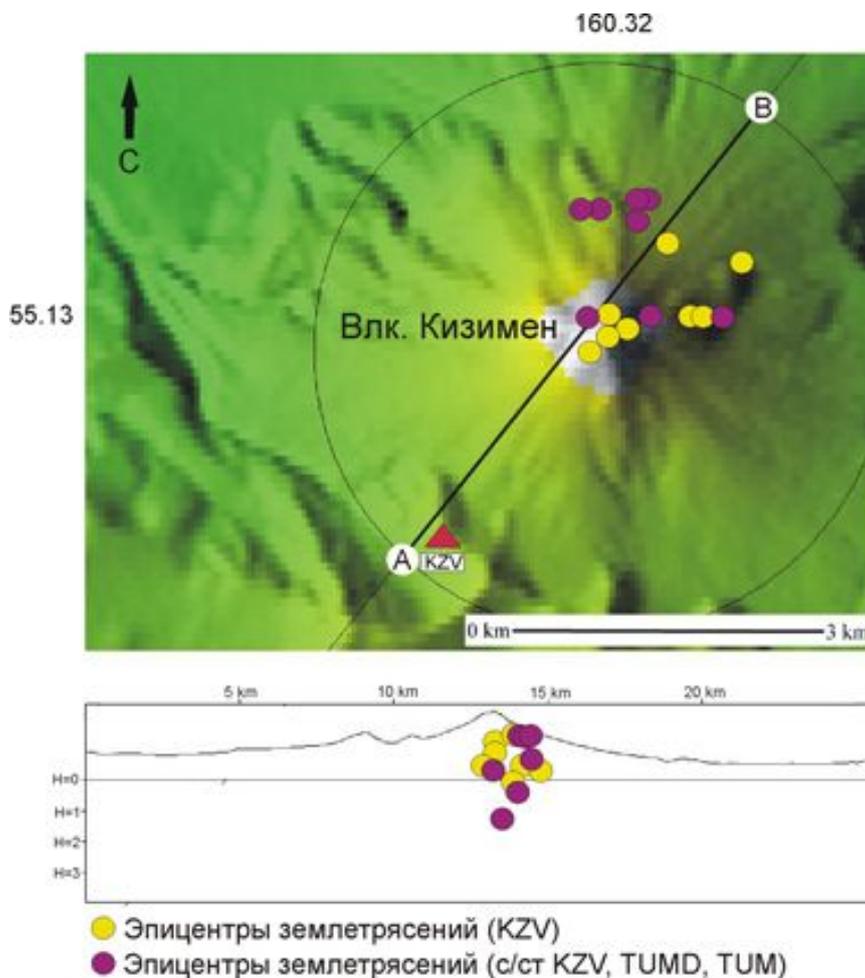


Рис. 11. Карта смещения гипоцентров землетрясений III типа в районе влк. Кизимен.

Для определения положения гипоцентров землетрясений III типа за период март 2011 г. применялась программа «DIMAS» в двух вариантах:

а) с использованием записей локальной сети сейсмостанций («KZV», «TUM», «TUMD»);

б) с использованием поляриза-ционного метода по записям РТСС «KZV» (рис. 11).

В результате обработки 8 сейсмических событий с использованием двух методов было установлено, что положения эпицентров землетрясений III типа изменялись незначительно. Средняя величина смещения эпицентров в результате обработки сейсмических событий двумя методами не превышает 1.5 км. Средняя величина смещения гипоцентров по глубине не превышает 0.7 км. Гипоцентры локализуются на глубинах до 2 км и выше уровня моря в постройке вулкана.

Выводы

1. Сделана оценка невязок гипоцентров землетрясений района в. Кизимен с помощью трех различных методов (с использованием всех сейсмических станций, с использованием ближайших с/станций, с использованием поляризационного метода).

2. Показано, что поляризационный метод приемлем для мониторинга динамики слабой сейсмичности района вулкана.

3. Получены детальные данные о слабой сейсмичности района в. Кизимен с помощью поляризационного метода по данным РТСС KZV за период с ноября 2009 по март 2011 гг.

4. Выявлены две зоны локализации слабой сейсмичности района вулкана: вертикальная зона непосредственно под вулканом, наклонная зона в юго-западном направлении от вулкана.

Выражаем благодарность Фирстову П.П., Ящуку В.В., Копыловой Г.Н. за полезные советы и ценные замечания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дрознин Д.В., Дрознина С.Я. Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Труды региональной научно-технической конференции «Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока России». Петропавловск-Камчатский, 2008. Т. 2. С. 117-121.
2. Токарев П.И. Вулканические землетрясения Камчатки. М.: Наука, 1981. 163 с.

ANALYSIS OF DISPLACEMENT EARTHQUAKE'S
HYPOCENTERS IN THE DISTRICT KIZIMEN VOLCANO
(2009-2011) USING DIFFERENT METHODS

Shakirova A.A., Kozhevnikova T.U.

Kamchatkan Branch of the Geophysical Survey of the RAS.

The paper considers the seismicity of the Kizimen volcano according to radio telemetry seismic stations KF GS RAN. The comparative results of determination of earthquake's hypocenters are presented using program DIMAS with the earthquake records. Used data of: a) for all seismic stations, recording the signal; b) at the nearest station from the volcano; c) on the very near station "KZV" ("Kizimen") by the polarization signal.

The possibility of using the polarization method to study the spatial and temporal patterns of local seismicity according to one seismic station was shown.

Two zones of localization of seismicity in the vicinity of the volcano were isolated: vertical zone directly under the volcano, sloping area in the south-west of the volcano.

Key words: seismicity, earthquake, seismic signal, polarization method, hypocenter, offset.