

ОБНОВЛЕННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ П.И. ТОКАРЕВА.

Гарбузова В.Т., Соболевская О.В.

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

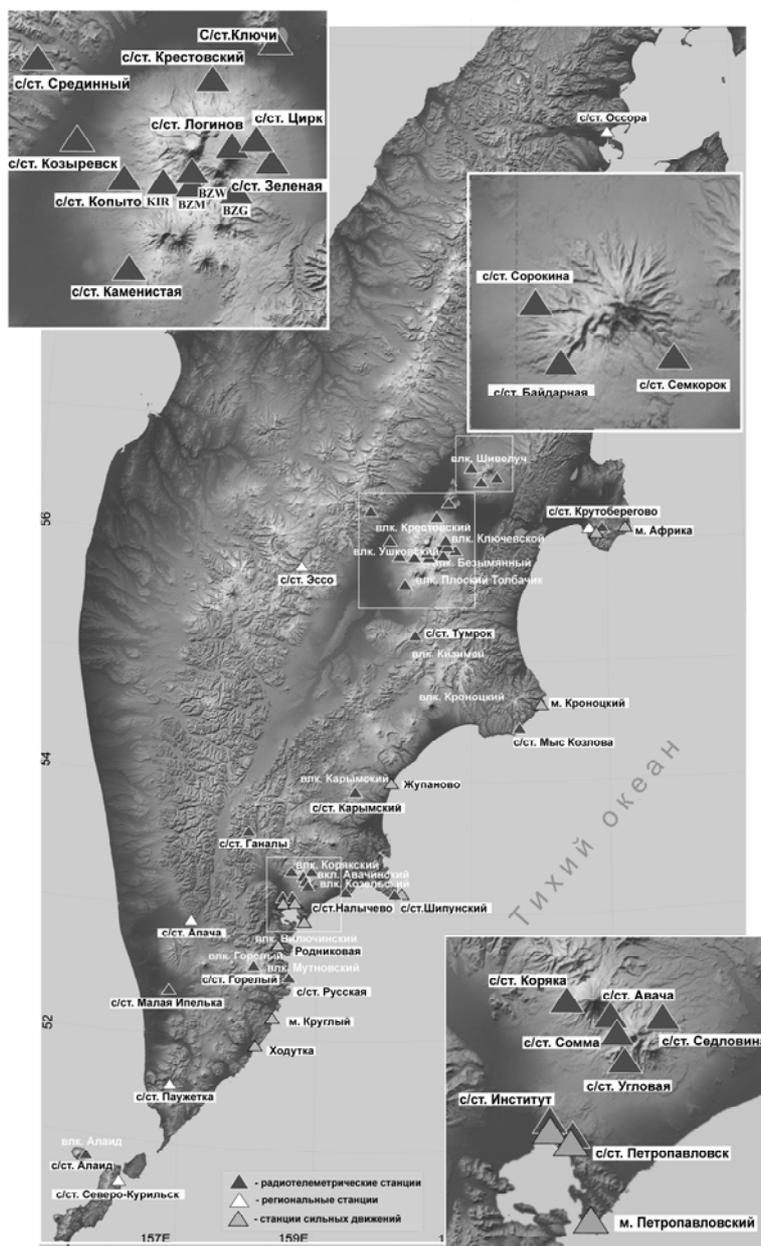


Рис. 1. Сеть сейсмических станций на Камчатке.

Введение. Основной целью предложенной работы является дополнение характеристик некоторых типов событий из классификации вулканических землетрясений П.И. Токарева в связи с новыми возможностями цифровой регистрации и расширением сети РТС. В процессе оперативной обработки землетрясений, в классификацию был добавлен новый тип сейсмических событий.

На Камчатке, начиная с 1946 г. с появлением первых сейсмических станций вблизи вулканов стали регистрироваться местные вулканические землетрясения, связанные с деятельностью вулканов. К 1961 году в районе Ключевской группы вулканов работали 3 сейсмостанции: «Ключи», «Козыревск» и «Апахончич». Таким образом, была создана первая локальная сеть станций для этого района. С этого времени начались режимные сейсмологические наблюдения на территории Северной группы вулканов. Сейчас на территории Камчатки действует сеть РТСС, которая состоит из 37 сейсмических станций, большая часть которых располагается вблизи активных вулканов. Обработка и интерпретация данных автоматических телеметрических сейсмических станций происходит в режиме близком к реальному времени. Это необходимо для ежедневного мониторинга активности действующих вулканов с целью оценки вулканической опасности. (Рис.1)

Методика исследований.

Вулканические землетрясения происходят вблизи вулкана или же в его постройке и связаны с вулканическими процессами. Эти события происходят как большими сериями (роями), так и одиночными событиями, отражая глубинные и поверхностные процессы в пределах близлежащего района и постройки вулкана. Вулканические землетрясения, как правило, слабее тектонических по количеству выделенной энергии, так как их очаги лежат на меньших глубинах и источник локализован в небольшом пространстве земной коры [3]. По характеру записи и связи землетрясений с определенными вулканическими событиями, появилась необходимость классификации этих землетрясений по типам.

До 1996 года, при обработке всех сейсмических событий из района Северной группы вулканов, использовали классификацию вулканических землетрясений П.И. Токарева. Им было выделено пять типов (I—V) вулканических землетрясений, отражающих передвижение магмы, предваряющих центральные извержения и прорывы побочных кратеров, которые могут быть использованы для прогноза места, времени и энергии извержений.

Вулканические землетрясения типа I по характеру записи ничем не отличаются от местных тектонических землетрясений с тем же эпицентральной расстоянием. На записи преобладают объемные волны, а поверхностные волны или выражены очень слабо, или совершенно отсутствуют. Они отмечаются как в период между извержениями, так и во время извержений центрального кратера. Землетрясения I типа возникают в результате разрушения твердых пород при движении в них жидкой магмы и при деформациях вулканической постройки и ее фундамента. Очаги этих землетрясений в районе вулкана Ключевской лежат на глубине от 0 до 20 км.

Вулканические землетрясения типа II по характеру записи резко отличаются от тектонических землетрясений с тем же эпицентральной расстоянием. Объемные волны выражены слабо, преобладают поверхностные волны. Период объемных волн значительно больше, чем у землетрясений типа I. Землетрясения этого типа отмечаются как в период подготовки извержений, так и во время извержений и связаны, как можно полагать, с движением по выводному каналу вязкой магмы. Вулканические землетрясения типа II предваряют и сопровождают также и прорывы побочных кратеров. Очаги землетрясений типа II, по-видимому, лежат вблизи поверхности земли, в слое осадочных пород.

Вулканические землетрясения типа III по характеру записи очень похожи на землетрясения типа II и отличаются от них тем, что имеют значительно большие периоды колебаний в объемных волнах. Особенно велик период продольных волн. Он иногда даже больше, чем в поперечной волне.

Вулканические землетрясения типа IV представляют собой интенсивные цуги колебаний и по характеру записи похожих на поверхностные волны землетрясений типов II и III; однако объемные волны в них выделить нельзя. Такие землетрясения регистрируются только во время извержений и связаны, по-видимому, со взрывами газов в кратере вулкана.

Вулканические землетрясения типа V — это вулканическое дрожание, которое представляет собой непрерывную запись поверхностных волн. По характеру записи вулканическое дрожание делится на непрерывное и спазматическое. Амплитуда непрерывного дрожания и его период в течение длительного времени изменяются мало. Спазматическое дрожание представляет собой или отдельные короткие цуги колебаний, амплитуда которых сначала постепенно возрастает, а затем так же постепенно убывает, или прерывистую запись непрерывного дрожания. Непрерывное вулканическое дрожание отмечается во время извержений как главного, так и побочных кратеров вулканов и бывает столь же длительным, как и извержение, иногда продолжаясь несколько лет подряд [1].

Разделение П.И. Токаревым вулканических землетрясений на пять типов близко к тому, которое сделано Минаками Т. для японских вулканов. Землетрясения I и II типов соответствуют вулканическим землетрясениям типов “А” и “В” по классификации Минаками [5]. Землетрясения IV типа являются эксплозивными землетрясениями, вызванными взрывами газов в кратере вулкана. Землетрясения типа III можно отнести и к землетрясениям типа II, с поверхностным очагом, а так же к взрывным землетрясениям. Вулканическое дрожание камчатских вулканов ничем не отличается от вулканического дрожания вулканов других районов земного шара [3].

С 1996г., после перевода всех сейсмических станций (РТС) на цифровую регистрацию, возникла необходимость несколько изменить и классификацию сейсмических событий. Изменения и дополнения в классификацию П.И. Токарева вносились с учетом уже накопленного опыта в определении некоторых связей сейсмических событий с вулканическими процессами и новых возможностей программ обработки. Локализация землетрясений производилась на основе данных сети РТС и стала применяться не только к землетрясениям Северной группы вулканов, но и к другим активным вулканам Камчатки.

В настоящее время, при оперативной обработке все вулканические сейсмические события условно делятся на 5 типов. Типы землетрясений I, IV и V из классификации П.И. Токарева остались без существенных изменений. В определения этих типов лишь были внесены некоторые дополнения с учетом определения параметров этих событий не одной станцией, а сетью РТС. В классификацию добавился и новый тип сейсмических событий.

Вулканические землетрясения типа I — события этого типа происходят на глубине порядка 5-40 км. В записи преобладают объемные волны, поверхностные либо отсутствуют, либо выражены

очень слабо. Регистрируются как роями, так и одиночными событиями. Имеют очень четкие Р и S вступления (Рис. 2).

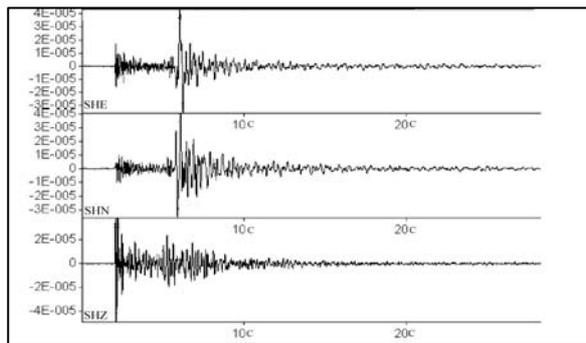


Рис. 2. Образец записи землетрясения типа I по ст. «KLY» из района влк. Ключевской с глубиной ~16.9 км.

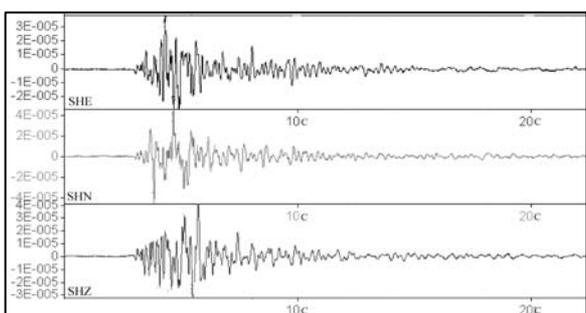


Рис. 3. Образец записи землетрясения типа II-III по ст. «GRL» от влк. Горелый с глубиной ~1.9 км.

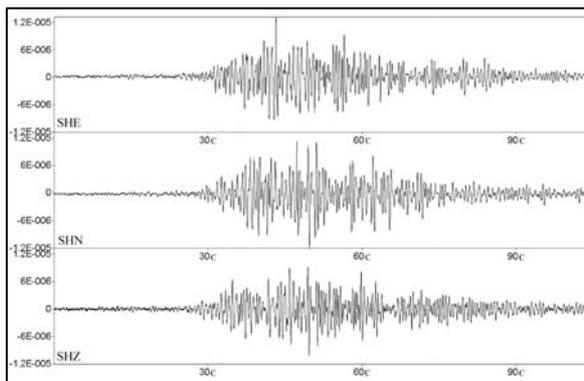


Рис. 4 Образец записи землетрясения типа IV от влк. Шивелуч.

подобных событий определяется их продолжительность (Δt , час), а так же их средняя и максимальная скорость смещения (A/T). Подобные события фиксируются практически на всех активных вулканах Камчатки. Являются характерным прогностическим признаком извержения для вулканов Безымянный, Шивелуч и др. (Рис. 6, 7).

По итогам оперативной обработки за сутки, в которую входит подсчет общего количества событий на активных вулканах Камчатки, определение их стандартных характеристик (координаты эпицентров, глубина, энергетический класс и т.д.), а так же разделение событий на типы, делаются выводы о состоянии вулканов. Вся информация о землетрясениях ежедневно помещается в сводную таблицу, куда вносятся следующие параметры: количество событий (N), продолжительность событий ($\Sigma \Delta t$, час) для н/ч серий и вулканического дрожания, а так же средняя и максимальная скорость смещения (a/t), энергетический класс по поперечной волне (K_s).

Вулканические землетрясения типа II – III – события этого типа были объединены по причине невозможности их разделения при массовой обработке из-за особенностей цифровой регистрации. Объемные волны в них выделяются четко. Поверхностные волны преобладают над объемными в 2-5 раз. События такого типа предваряют и сопровождают активизацию вулканов. Происходят на глубинах от -5 до 5 км вблизи и в постройке вулкана (Рис. 3).

Вулканические землетрясения типа IV – характеристика землетрясений IV типа осталась неизменной из классификации Токарева П.И. Это очень поверхностные события, у которых затруднительно или невозможно выделить объемные волны. Чаще всего предваряют и сопровождают извержения вулканов, но нередко регистрируются и при спокойном их состоянии (Рис. 4).

Вулканические землетрясения типа V – это вулканическое дрожание. Непрерывные колебания регистрируются продолжительностью от нескольких часов до нескольких лет. Характеристика вулканического дрожания полностью совпадает с

характеристикой вулканического дрожания, данной Токаревым П.И. [4]. Наблюдается на всех активных вулканах, даже при спокойном их состоянии (Рис. 5).

Новый выявленный тип вулканических событий - *низкочастотные серии*. Землетрясения этого типа являются как бы гибридом землетрясений типов II-III, IV и V. Продолжительность серий варьируется от 2-3 минут до 2-3 часов. Представляет собой ряд непрерывно следующих друг за другом поверхностных событий. Иногда в серии можно выделить объемные волны, но чаще всего они состоят из волн поверхностных. Диапазон частот этих событий примерно 0,5-2 Гц. Землетрясения этого типа всегда сопровождают какую-либо активность на вулкане: эксплозии из кратеров и сход пирокластических потоков, а так же сход различного вида лавин с активных куполов. При обработке

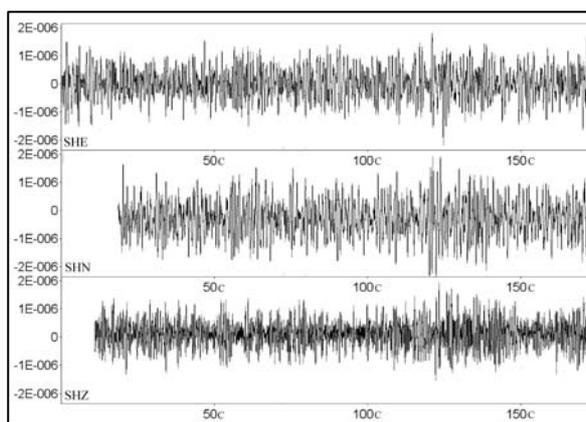


Рис. 5. Образец записи вулканического дрожания на влк. Ключевской.

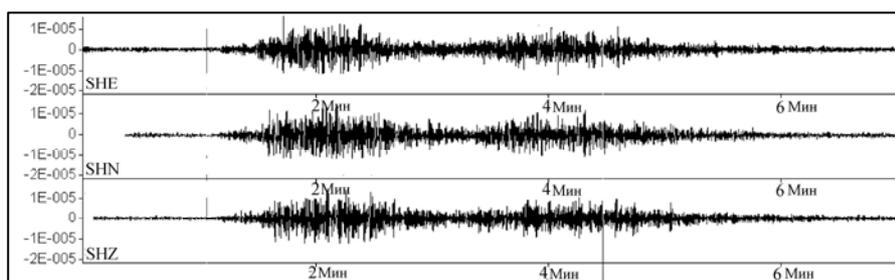


Рис. 6. Серия, сопровождающая начало извержения влк. Шивелуч 25.04.2009.

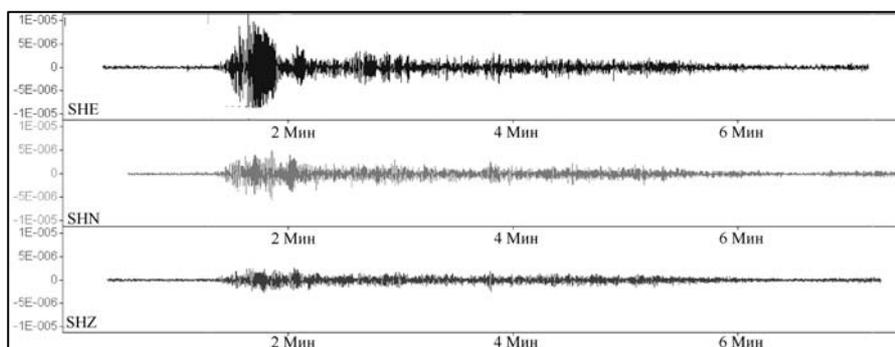


Рис. 7. Серия, сопровождающая извержение влк. Ключевской 10.05.2009.

каждого типа с определенного вулкана можно с большой долей вероятности говорить как о его современном состоянии, так и о прогнозе извержений при отсутствии спутниковых, видео и визуальных данных.

Список литературы.

1. Влодавец В.И. Справочник по вулканологии. М: Наука, 1984. С. 93-95.
2. Горшков Г.С. Сейсмологические наблюдения в 1949 г. // Бюллетень вулканологической станции № 21. М: АН СССР, 1954. С. 19-39.
3. Токарев П.И. Извержения и сейсмический режим вулканов Ключевской группы (1949-1963 гг.). М: Наука, 1966. 119 с.
4. Токарев П.И. Вулканические землетрясения Камчатки. М: Наука, 1981. 164 с.
5. Minakami T. Fundamental research for predicting volcanic eruption. Bull. Earthq. Res. Inst., pt. 1, 1960. p.38.

Выводы. Обновленная классификация вулканических землетрясений Камчатки предложена в связи с изменением регистрации в настоящее время сети РТСС. Обработка и анализ всех сейсмических событий стали возможны в режиме приближенном к реальному времени. Предлагаемая типизация землетрясений в обновленной классификации обоснована не только изменениями сейсмических событий в их «внешнем виде» в связи с переходом на цифровую регистрацию, но так же их частотной характеристикой и выявлением нового прогностического типа землетрясений (низкочастотные серии). Разделение вулканических сейсмических событий на типы помогает более точно

проследить движение магматического вещества под вулканической постройкой и определять некоторые вулканические процессы на ее поверхности (пепловые выбросы, сход разного рода лавин, формирование и движение лавовых потоков).

В процессе ежедневной работы были уточнены такие характеристики каждого типа событий, как внешний вид, преобладающие глубины, на которых они преимущественно локализируются, а так же выявлены события переходных типов, которые требуют дополнительного изучения. При анализе сейсмических событий