

**ИССЛЕДОВАНИЯ АКТИВНОСТИ ВУЛКАНА КЛЮЧЕВСКОЙ ДИСТАНЦИОННЫМИ
МЕТОДАМИ В 2001-2005 гг.**

Сенюков С. Л., Дрознина С. Я., Нурждина И. Н., Гарбузова В. Т., Кожевникова Т. Ю.

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г.Петропавловск-Камчатский, sva04@emsd.ru

Введение

Вулкан Ключевской - координаты вершины: 56° 04' с. ш., 160° 38' в. д. Абсолютная высота вулкана - 4750 м. Диаметр вершинного кратера, венчающего конус, составляет около 700 м [1]. Ближайшая телеметрическая станция LGN расположена в 4 км от кратера. Минимальный уровень регистрируемой сейсмичности по одной ближайшей станции соответствует энергетическому классу землетрясений 2.2 [8]. При благоприятных условиях сеть позволяет регистрировать землетрясения с минимальным энергетическим классом 4.0, а уровень надежной регистрации (если нет сильного дрожания) соответствует классу 4.5. Всего за исследуемый период с 01.01.2001 г. по 31.07.2005 г. было обработано около 23 000 землетрясений с классом 4.0 и выше.

Методы исследований

Мониторинг действующих вулканов на Камчатке проводится с целью своевременного предупреждения населения и административных органов о возможности их извержения, для уменьшения последствий катастрофических событий, для обеспечения безопасности авиapolетов в районе полуострова Камчатка. КФ ГС РАН проводит мониторинг активности вулканов Камчатки в режиме близком к реальному времени с 2000 г. Оценка состояния вулканов делается по данным следующих наблюдений:

- наблюдения за сейсмической активностью;
- визуальные и видео наблюдения;
- спутниковый мониторинг термальных аномалий и пепловых выбросов.

Наиболее информативными и надежными являются данные наблюдений за сейсмической активностью. Их качество не зависит от погодных условий, а высокая информативность доказана многочисленными исследованиями, как на Камчатке, так и в мире. Более подробно с данными методами исследования активности вулканов Камчатки можно ознакомиться в работе [4].

Первые работы по детальному анализу сейсмичности Ключевского вулкана были выполнены П.И. Токаревым и В.И. Горельчик [2, 3, 5, 6]. В результате этих и последующих исследований сейсмичности вулкана было выяснено, что извержению Ключевского вулкана всегда предшествует сейсмическая подготовка, интенсивность которой пропорциональна силе готовящегося извержения. Процесс подготовки может длиться месяцы, а иногда он проходит быстро, в течение нескольких суток. Зафиксировать начало активизации вулкана и проследить ее дальнейшее развитие – задача мониторинга вулканической активности.

Во избежание недоразумений в тексте используется только Гринвичское время для всех видов наблюдений. Местное Камчатское время отличается от Гринвичского времени на +12 ч зимой и на +13 ч летом.

Результаты

В районе вулкана Ключевской установлена наиболее плотная сеть автоматических телеметрических сейсмических станций, что позволяет проводить детальные сейсмические наблюдения. Достаточно точное определение положений гипоцентров дает возможность следить за миграцией очагов землетрясений и, следовательно, следить за перемещением магмы.

Рис. 1 представляет пространственное расположение очагов землетрясений в районе Ключевского вулкана. На разрезе выделяются два облака гипоцентров под постройкой вулкана: одно на глубине около 30 км и второе от вершины до глубины 5 км ниже уровня моря. Между ними, непосредственно под центральной частью вулкана, расположена область пониженной сейсмичности на глубинах от 5 до 20 км ниже уровня моря, но по краям этой области зарегистрированы очаги землетрясений, особенно, к северо-западу и к северо-востоку.

За время исследований на вулкане были зарегистрированы два основных периода активизации (рис. 2, 3): 1) с весны 2003 г по февраль 2004 г; и 2) в начале 2005 г. Обычно начало активизации вулкана начинается с роя глубоких землетрясений (до 100 событий за сутки с

глубины 30 км и максимальным классом 6.5). Потом в течение, как минимум, одной недели наблюдается последующая миграция очагов землетрясений с глубины около 30 км к вершине

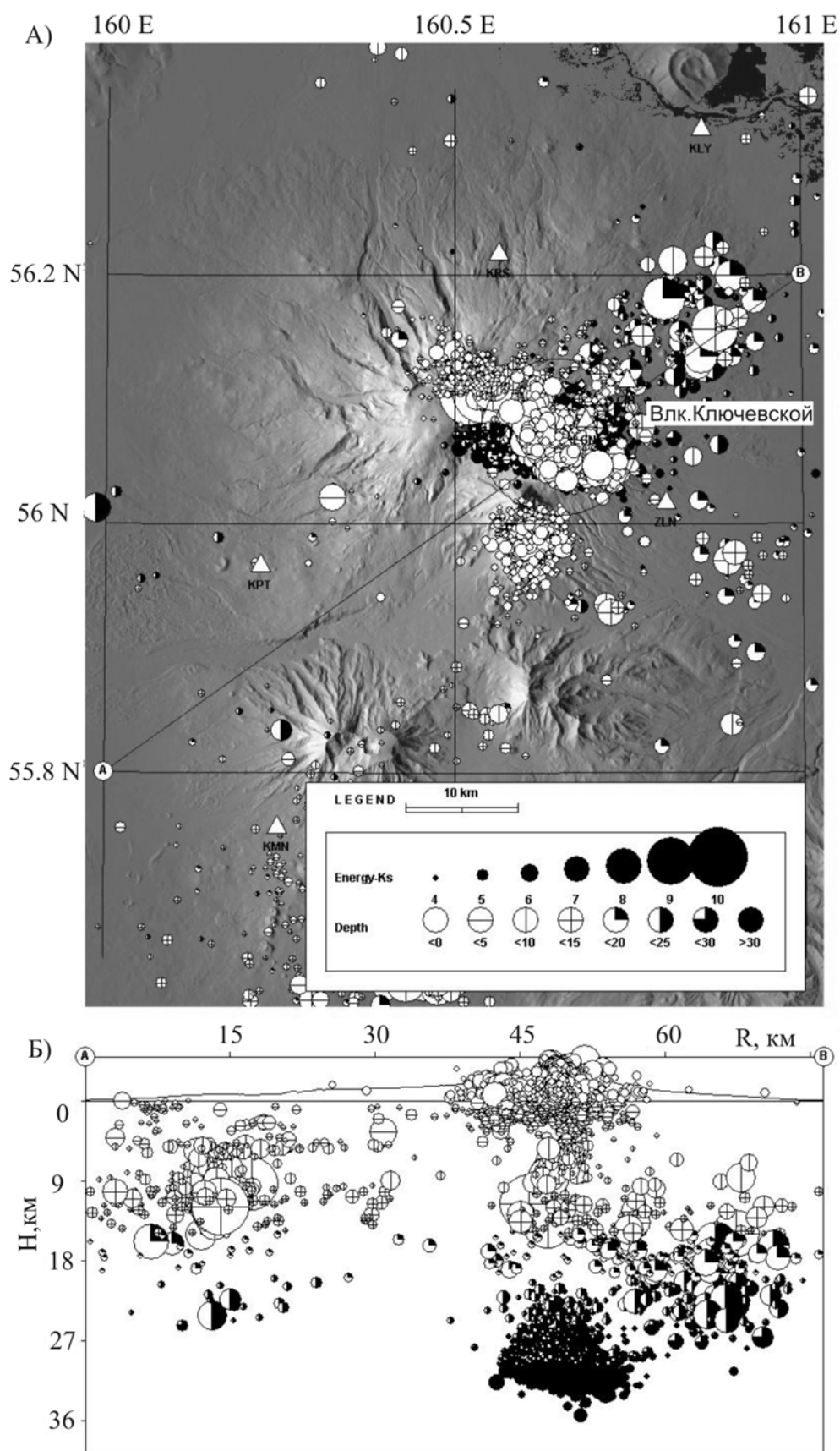


Рис. 1. Сейсмичность района вулкана Ключевской с 01.01.2001 г. по 31.07.2005 г.
А) карта эпицентров; Б) проекция эпицентров на вертикальную плоскость по линии А-В.

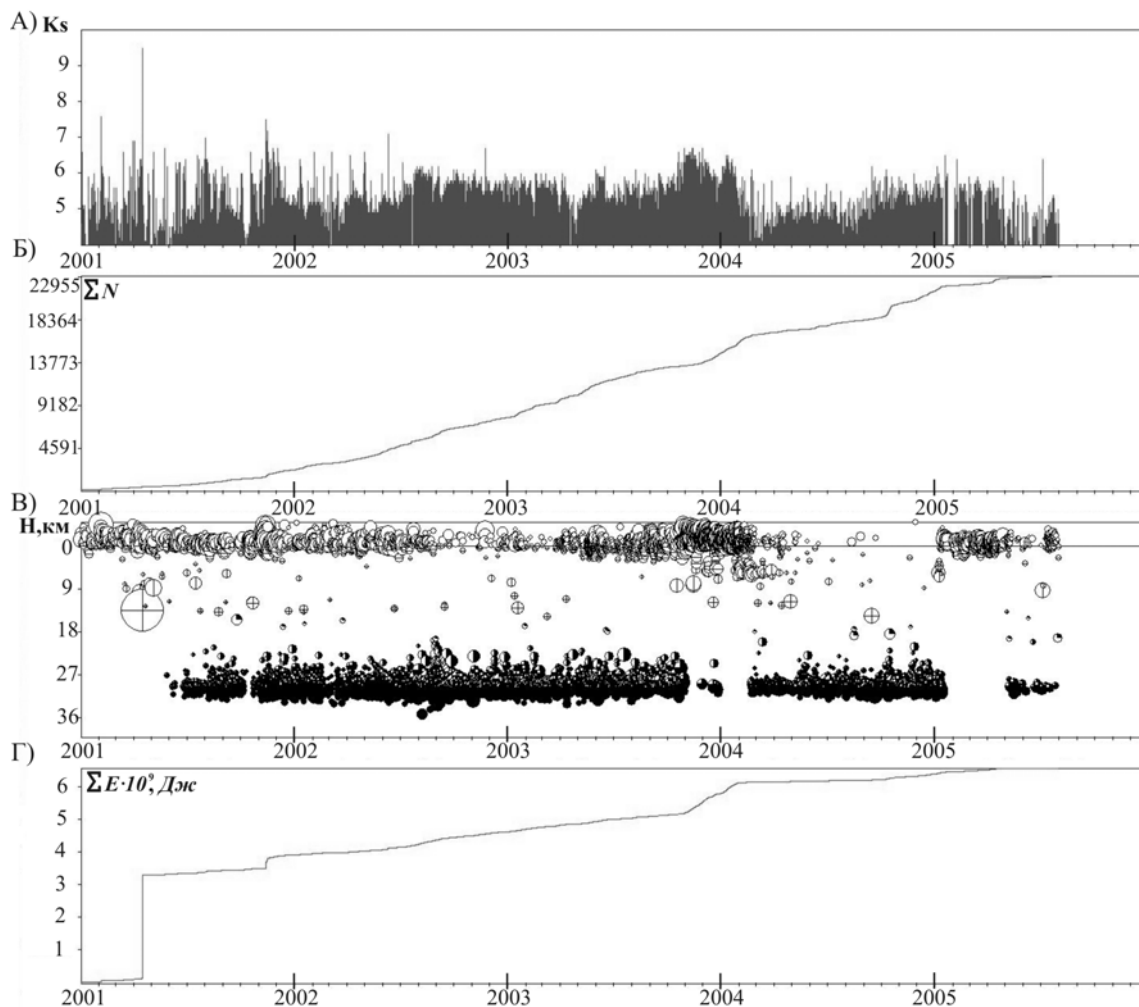


Рис. 2. Графики распределения во времени различных параметров землетрясений, выделенных окружностью на карте (рис. 1): А) энергетический класс по S-волне; Б) кумулятивное количество землетрясений; В) глубина гипоцентров, км; Г) кумулятивная энергия, Дж.

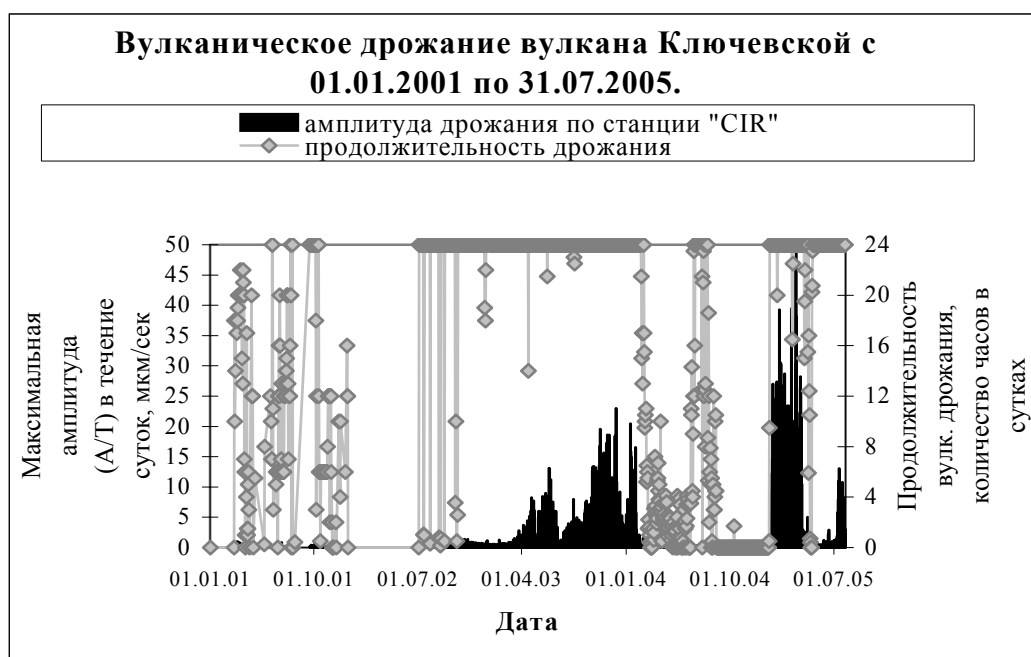


Рис. 3. Графики амплитуды и продолжительности вулканического дрожания вулкана Ключевской с 01.01.2001 г. по 31.07.2005 г., ответственная - В.Т. Гарбузова.

вулкана. После того как гипоцентры землетрясений достигают постройки вулкана, начинает регистрироваться вулканическое дрожание (рис. 3). Увеличение количества поверхностных землетрясений и амплитуды дрожания свидетельствует о подъеме магмы. В обоих случаях, во время появления магмы в кратере, фиксировалась термальная аномалия по спутниковым данным в районе вершины Ключевского (рис. 4), и происходили пепловые выбросы (рис. 5).

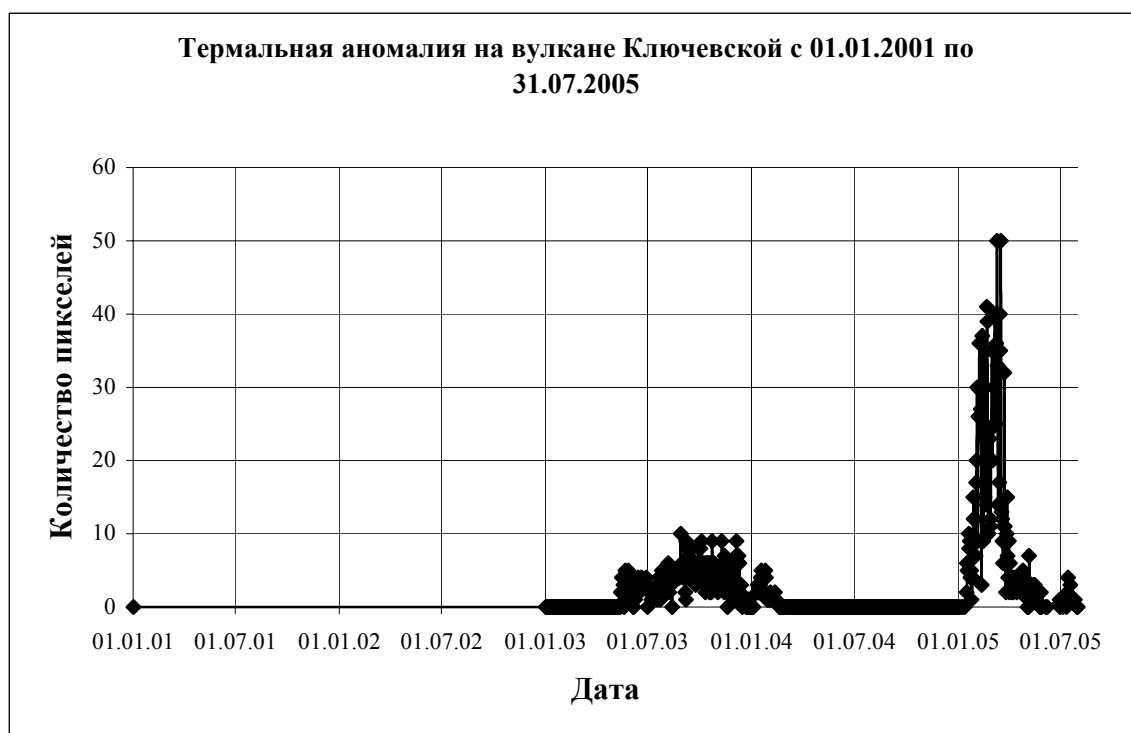


Рис. 4. График изменения размеров термальной аномалии вулкана Ключевской с 01.01.2001 г. по 31.07.2005 г. Данные Аляскинской вулканологической обсерватории и лаборатории ИСВА КФ ГС РАН. Снимки со спутников NOAA16 и NOAA17 предоставлены КЦСМ.



Рис. 5. Пепловые выбросы вулкана Ключевской по визуальным и видео наблюдениям с 01.01.2001 г. по 31.07.2005 г.

Также в темное время суток наблюдалось свечение в кратере. Следует отметить, что по данным аэронаблюдений во второй половине 2000 г. кратер на вершине вулкана имел глубину до 800 м. В течение первого периода активизации кратер только несколько заполнился, но уровень магмы не превысил верхней кромки кратера. Во время второй активизации магма уже достигла кромки кратера, и наблюдалось излияние лавы на северо-западный склон (рис. 6).



Рис. 6. Лавовый поток на северо-западном склоне вулкана Ключевской, 24.02.2005 г. Фотография Ю.В. Демянчука.

В обоих случаях после прекращения активности вулкана сначала наблюдалось постепенное уменьшение количества поверхностных землетрясений. Потом регистрировались землетрясения на промежуточных глубинах 0-15 км, а затем более глубокие, на глубинах около 30 км. Все это можно связать с постепенным отступлением магмы и прекращением вулканической активности.

Рассмотрим активизацию в начале 2005 г. более подробно, как примерный сценарий активизации вулкана Ключевской. На рис. 7 показана сейсмичность, которая была зарегистрирована до, во время и после последнего извержения. С середины сентября 2004 г. начинают регистрироваться землетрясения (около 40 событий за сутки) на глубине 30 км под центральным кратером. Их количество постепенно увеличивалось, и 12 октября было зарегистрировано 204 землетрясения за сутки – максимальное число за этот период. В дальнейшем количество землетрясений уменьшается до фонового уровня. С 29 ноября 2004 г. по 10 января 2005 г. число глубоких землетрясений постепенно увеличивается до 80 событий за сутки. С 11 января начинают регистрироваться землетрясения 2-3 типа (по классификации П.И Токарева [7]) на глубинах 5 км и выше и землетрясения 4 типа. 12 января число землетрясений 2-3 типов за сутки достигает 119, а 4 типа – около 500. При этом количество глубоких землетрясений резко уменьшается. С 11 января также начинает регистрироваться вулканическое дрожание, амплитуда которого постепенно возрастает.

По визуальным данным из Ключей 16 января впервые наблюдалось свечение над кратером в темное время суток. Далее количество землетрясений 4 типа увеличивается, амплитуда вулканического дрожания растет, а количество землетрясений 2-3 типов уменьшается до 10-15 событий за сутки, или такие землетрясения не регистрируются. 21 января появляются выбросы раскаленных бомб на высоту около 50-100 м над кратером. И после резкого увеличения поверхностных вулканических событий (4 тип), 31 января начинают происходить пепловые

выбросы. Через некоторое время на фоне постоянно увеличивающейся амплитуды вулканического дрожания, появляется лавовый поток на западном склоне вулкана. Первое сообщение о наличии лавового потока было получено из Ключей 7 февраля 2005 г. В дальнейшем, в течение двух месяцев, происходило извержение Ключевского вулкана с излиянием лавового потока длиной до нескольких километров и пепловыми выбросами на высоту до 4 км над кратером. Седьмого апреля уровень дрожания резко уменьшается, увеличивается количество землетрясений 4 типа и немного позже – число землетрясений 2-3 типов (около 100 событий за сутки). 11 апреля появляются единичные землетрясения с глубины 30 км. В течение двух недель количество землетрясений постепенно уменьшается, и к 29 апреля уровень сейсмичности становится фоновым.

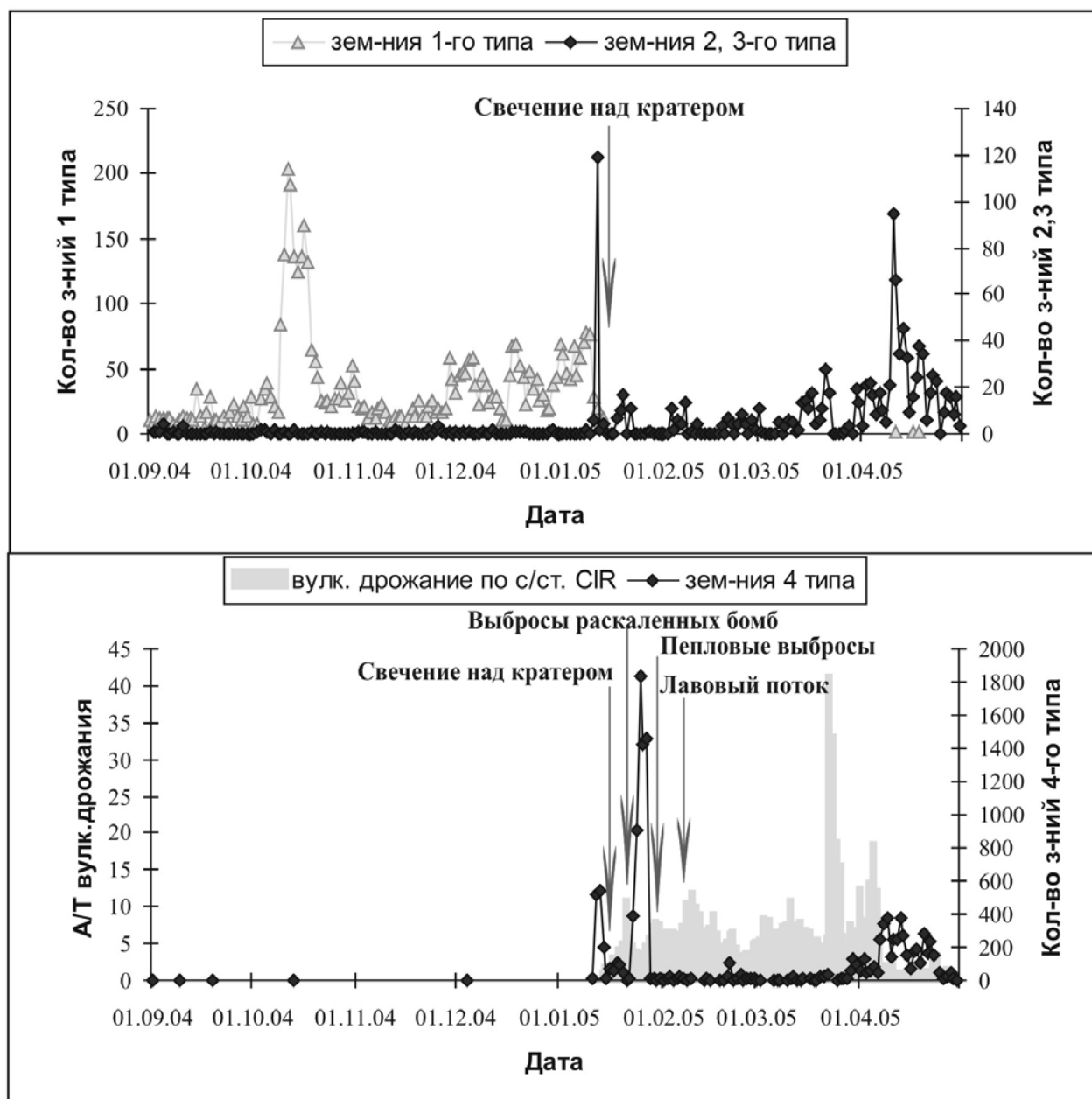


Рис. 7. Сейсмичность в районе Ключевского вулкана до, во время и после извержения в 2005 году.

Термальная аномалия в районе центрального кратера Ключевского вулкана была впервые замечена на спутниковом снимке 15 января в 16:47, спутник NOAA16. В дальнейшем аномалия регистрировалась на протяжении всего периода активности, если вулкан был не закрыт облачностью. 10-11 марта термальная аномалия достигла максимального размера - около 50 пикселей. По визуальным и видео данным в это время происходили выбросы раскаленного материала на высоту до 1000 м над кратером, пепловые выбросы до высоты 3200 м над кратером и наблюдался лавовый поток на западном склоне вулкана.

На рис. 5 представлены данные о пепловых выбросах, зафиксированных на вулкане Ключевской по визуальным и видео данным. К сожалению, пока не выявлен алгоритм выделения пепловых выбросов Ключевского вулкана по сейсмическим данным, поэтому нет информации о пепловых выбросах в ночное время, или когда вулкан был закрыт облаками.

На основании приобретенного опыта наблюдений за первой активизацией, во время активизации 2005 г. был сделан прогноз времени и масштабов возможного извержения вулкана Ключевской. Этот прогноз был передан в Камчатское отделение Федерального центра прогнозирования землетрясений 17 января 2005 г. В связи с существованием большого количества определений понятия «извержение» необходимо его уточнить для Ключевского вулкана в нашем понимании. «Извержение» - это выход на поверхность горячего магматического материала в виде выбросов раскаленных бомб или пепла, а также лавовых потоков.

Прогноз извержения вулкана Ключевской

По данным сейсмического мониторинга с 12 января 2005 г. в постройке вулкана Ключевской регистрируются поверхностные землетрясения и постоянно нарастающее вулканическое дрожание. Ночью 15 января в 04:38 (мест. вр.) на спутниковых снимках NOAA в кратере вулкана Ключевской появилась яркая термальная аномалия, что свидетельствует о подъеме горячего материала (магмы) на уровень кратера.

Ночью 16 января уже наблюдалось свечение на вершине Ключевского. На основании данных сейсмических, спутниковых и видео наблюдений предлагаем следующий прогноз извержения вулкана Ключевской:

1) начало возможного извержения (70% вероятность) – ближайший месяц, с 17 января 2005 г. по 17 февраля 2005 г.;

2) масштаб извержения – взрывное извержение из центрального кратера с высотой пепловых выбросов от 6 до 10 км над уровнем моря с возможным излиянием лавового потока (несколько километров);

3) длительность извержения – от нескольких дней до нескольких месяцев.

Ожидается возможное выпадение пепла (несколько миллиметров) в близлежащих населенных пунктах (Ключи, Козыревск, Усть-Камчатск) в зависимости от направления ветра.

Возможна корректировка прогноза по мере регистрации наблюдаемых параметров сейсмичности, спутниковых и визуальных данных.

17 января 2005 г.

Сотрудники Лаб. ИСВА КОМСП ГС РАН: зав. лаб. Сеньюков С.Л., ст. н.с. Гарбузова В.Т., н. с. Дроздина С.Я., н. с. Нужида И.Н., в. инж. Кожевникова Т.Ю.

Выводы

Существующая сеть позволяет проводить детальный сейсмический мониторинг вулкана Ключевской. За исследуемый период удалось зафиксировать и проследить две активизации вулкана в режиме, близком к реальному времени. По зарегистрированным данным представлено описание сценария подготовки вулкана к извержению. Для последнего извержения был сделан краткосрочный прогноз.

Список литературы

1. Действующие вулканы Камчатки / Под ред. Федотова С.А., Масуренкова Ю.П. М.: Наука, 1991. Т. 1. С. 106-138.
2. Горельчик В.И., Зобин В.М., Токарев П.И. Сейсмичность вулканов // Вулканология и сейсмология. 1987. № 6. С. 61-77.
3. Горельчик В.И., Степанов В.В. Сейсмичность района Северной группы вулканов Камчатки в 1971-1972 гг. // Глубинное строение, сейсмичность и современная деятельность Ключевской группы вулканов. Владивосток, 1976. С. 108-118.
4. Сеньюков С.Л. Мониторинг активности вулканов Камчатки дистанционными средствами наблюдений // Комплексные сейсмологические и геофизические исследования на Камчатке. Петропавловск-Камчатский, 2004. С. 279-291.
5. Токарев П.И. Сейсмичность района северной группы вулканов Камчатки. Бюллетень вулканологических станций. 1965. № 39. С.35-46.
6. Токарев П.И. Извержения и сейсмический режим вулканов Ключевской группы. М.: Наука, 1966. 120 с.
7. Токарев П.И. Вулканические землетрясения Камчатки. М.: Наука, 1981. 164 с.
8. Федотов С.А. Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. М.: Наука, 1972. 117 с.