

МОНИТОРИНГ АКТИВНОСТИ ВУЛКАНОВ КАМЧАТКИ ДИСТАНЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ В 2007 ГОДУ

**С.Л. Сениюков, С.Я. Дрознина, И.Н. Нуждина, В.Т., Гарбузова,
Т.Ю. Кожевникова, С.Л., Толочкова, О.В. Соболевская**

*Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, 683006
e-mail: ssl@emsd.ru*

Введение

На территории полуострова Камчатка расположено 29 действующих вулканов [1]. Лаборатория Исследования Сейсмической и Вулканической активности (ЛИСВА) Камчатского филиала Геофизической службы (КФ ГС) проводит мониторинг активности действующих вулканов с целью оценки вулканической опасности. Эта работа необходима для своевременного предупреждения населения и административных органов о возможности извержения, для уменьшения последствий катастрофических событий и для обеспечения безопасности авиаполетов (в рамках проекта KVERT [2,3]) на трассах, проходящих вблизи полуострова Камчатка. Ежедневная оценка активности вулканов с февраля 2000 г. представляется в Интернете по адресу: <http://emsd.iks.ru/~ssl/monitoring/main.htm>. Срочная информация о вулканической опасности передается по электронной почте или телефону в ГУ МЧС России по Камчатской области, консультационные центры по вулканическим пеплам в Анкоридже, Вашингтоне и Токио, Аляскинскую Вулканологическую Обсерваторию (АВО) (США), Институт Вулканологии и Сейсмологии (ИВС), Метеоцентр Елизовского Аэропорта. Прогнозы о возможных извержениях вулканов передаются в Камчатский филиал Российского экспертного совета (КФ РЭС).

Методы исследований

В настоящее время мониторинг вулканической активности основывается на данных трех дистанционных видов наблюдений:

1) сейсмический мониторинг на основе обработки и интерпретации данных автоматических телеметрических сейсмических станций; 2) визуальные и видео наблюдения; 3) спутниковый мониторинг термальных аномалий и пепловых выбросов на основе обработки и интерпретации данных датчика AVHRR спутников NOAA. Прием данных осуществляет Камчатский центр связи и мониторинга (КЦСМ). Более подробно с данными методами можно ознакомиться в работе [4].

Каталог землетрясений Авачинской группы вулканов за 2007 г включает 213 событий, из них 41 с энергетическим классом $K_s \geq 4.0$ [7]. Каталог землетрясений Северной группы вулканов за 2007 г включает 13341 событие, из них 12846 с $K_s \geq 4.0$. Дополнительно проводится обработка и анализ вулканических землетрясений, для которых невозможно получить стандартные характеристики. Это либо слабые землетрясения 1-3 типов (в соответствии с классификацией П.И. Токарева [6]), зарегистрированные только ближайшими станциями, либо землетрясения 4-го типа - поверхностные вулканические события, либо вулканическое дрожание. Для таких землетрясений в оперативном режиме выполняется традиционная и сразу окончательная обработка с разделением по типам, определяется их количество и суммарное отношение А/Т. Результаты публикуются ежедневно в Интернете по адресу: <http://emsd.iks.ru/~ssl/monitoring/main.htm> в разделе «Землетрясения».

Все результаты наблюдений приводятся только в Гринвичском времени (GMT или UTC). Местное Камчатское зимнее время равняется GMT+12 ч, а Камчатское летнее время = GMT +13 ч.

Результаты

Вулкан Шивелуч. Расположение вулкана, карта эпицентров, проекция гипоцентров на вертикальный разрез и графики сейсмической активности представлены на рисунке 1.

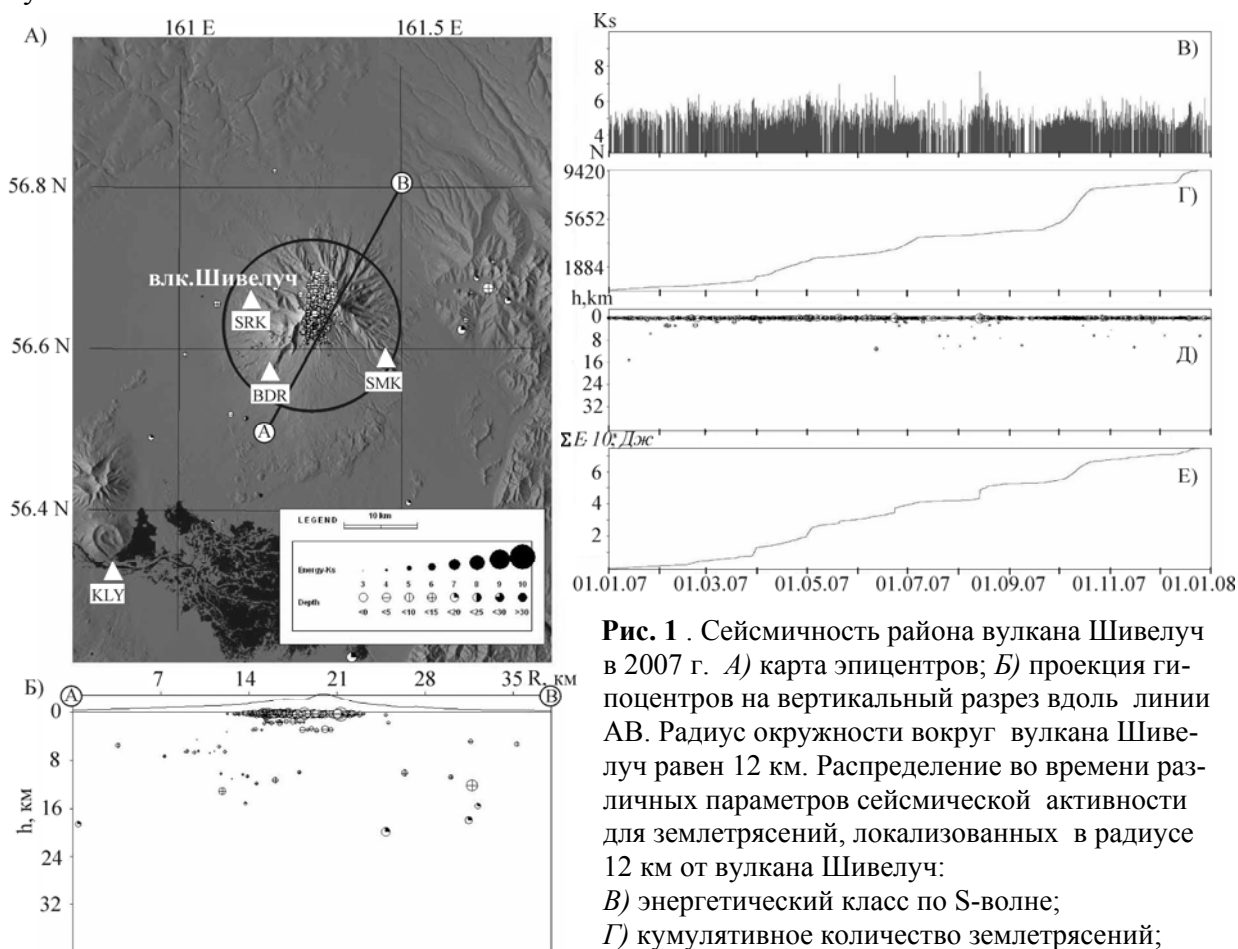


Рис. 1. Сейсмичность района вулкана Шивелуч в 2007 г. А) карта эпицентров; Б) проекция гипоцентров на вертикальный разрез вдоль линии АВ. Радиус окружности вокруг вулкана Шивелуч равен 12 км. Распределение во времени различных параметров сейсмической активности для землетрясений, локализованных в радиусе 12 км от вулкана Шивелуч: В) энергетический класс по S-волне; Г) кумулятивное количество землетрясений; Д) глубина гипоцентров, км; Е) кумулятивная энергия, Дж.

В 2007 г. продолжалось извержение вулкана Шивелуч, начавшееся 4 декабря 2006 г. после почти годичного затишья. Извержение сопровождалось большим количеством поверхностных землетрясений и вулканическим дрожанием. В районе вулкана было локализовано ~9500 землетрясений – максимальное число за все прошедшие годы. При этом было выделено энергии в 35 раз больше, чем в 2006 г.

Вулканическое дрожание регистрировалось на протяжении всего года, исключая период с 07 мая по 20 июня. В это время из-за высокой сейсмичности, сопровождавшей извержение вулкана Ключевской, невозможно было выделить дрожание от Шивелуча, рисунок 2 А).

В течение всего года наблюдалась термальная аномалия на растущем куполе, свидетельствующая о присутствии на поверхности горячего магматического материала. Максимального размера (10-40 пикселей) аномалия достигала в период схода пирокластических потоков рисунок 2 В). По видео и визуальным наблюдениям регистрировались газо-пепловые выбросы в течение всего года, рисунок 2 Б).

Пароксизмальная фаза извержения произошла 29 марта. Наблюдались пепловые выбросы на высоту до 10000 м над уровнем моря и образование мощных пирокластических потоков. На рисунке 2 Г) представлен спутниковый снимок с пепловым шлейфом от извержения. В 2007 г. было передано 138 срочных сообщений о пепловых выбросах вулкана Шивелуч, выделенных по сейсмическим, спутниковым, визуальным или видео данным и представляющих опасность для авиации.

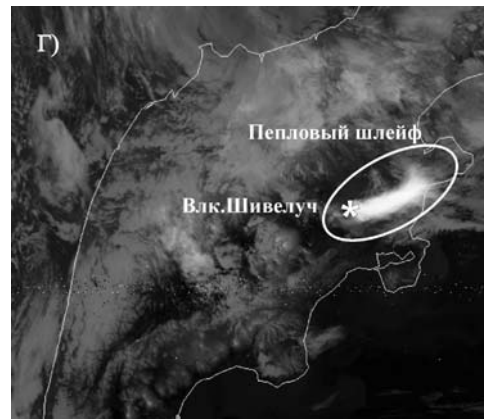
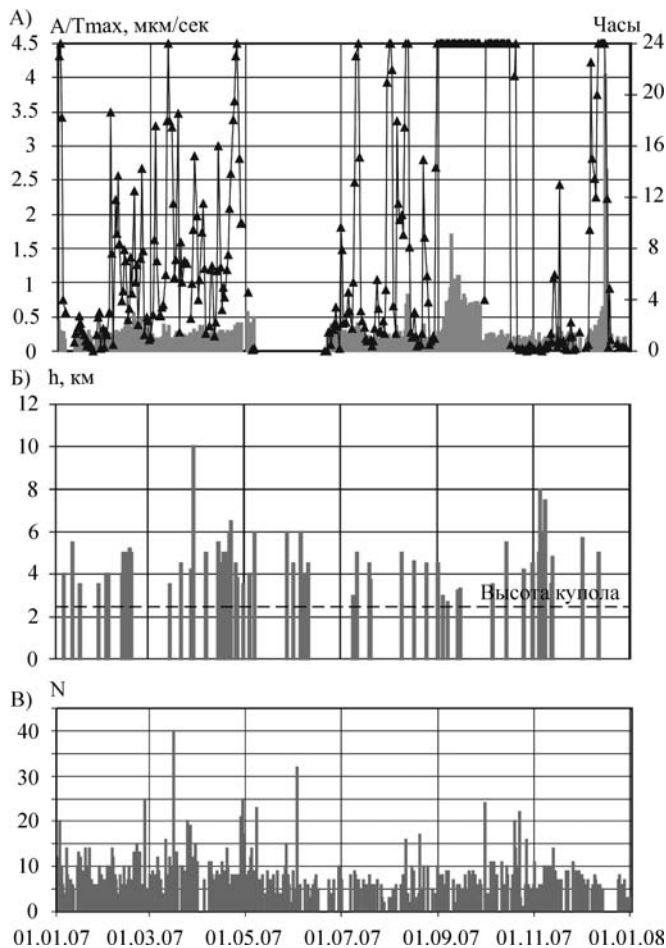


Рис. 2. А) вулканическое дрожание по станции SRK: график – продолжительность дрожания, количество часов за сутки, гистограмма – максимальная амплитуда дрожания; Б) высота газо-пепловых выбросов, в км над уровнем моря по видео и визуальным данным; В) размер термальной аномалии в пикселях. Данные спутников NOAA16 и NOAA17; Г) Пепловое облако (белого цвета) в районе вулкана Шивелуч. Спутниковый снимок NOAA16 (band4, 29 марта 03 час 35 мин UTC). Данные спутников NOAA16 и NOAA17 предоставлены КЦСМ, обработка – лаборатория ИСВА КФ ГС РАН.

Вулкан Ключевской. На рисунке 3 представлены карта эпицентров, проекция гипоцентров на вертикальный разрез вдоль линии АВ и графики сейсмической активности для района вулкана Ключевской.

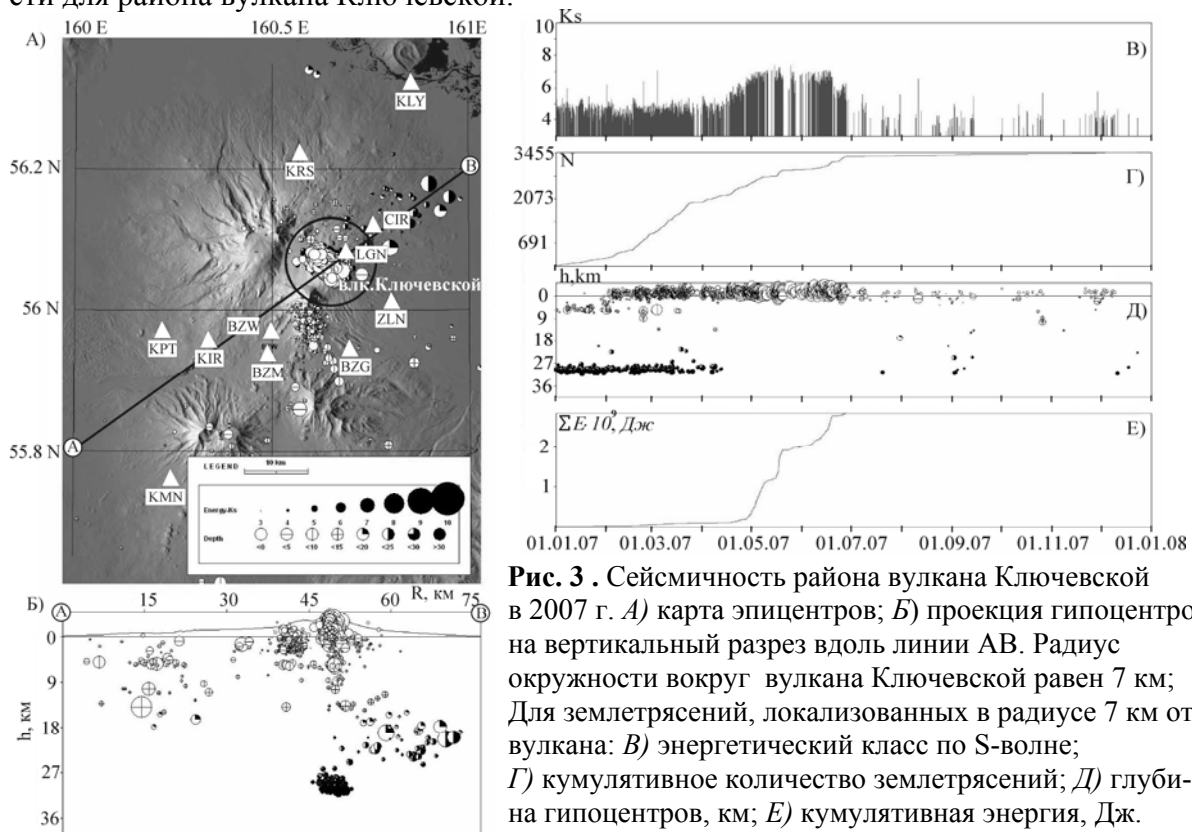


Рис. 3. Сейсмичность района вулкана Ключевской в 2007 г. А) карта эпицентров; Б) проекция гипоцентров на вертикальный разрез вдоль линии АВ. Радиус окружности вокруг вулкана Ключевской равен 7 км; Для землетрясений, локализованных в радиусе 7 км от вулкана: В) энергетический класс по S-волне; Г) кумулятивное количество землетрясений; Д) глубина гипоцентров, км; Е) кумулятивная энергия, Дж.

В 2007 г. наблюдалось мощное вершинное извержение вулкана. Активизация началась в середине декабря 2006 г. Перед извержением были зарегистрированы предвестники: 1) подъем центра выделенной сейсмической энергии; 2) увеличение амплитуды вулканического дрожания; 3) появление термальной аномалии в районе кратера вулкана, рисунок 4. Центр выделенной сейсмической энергии для выделенных суток определялся как землетрясение с координатами очага равными среднему значению координат по землетрясениям, локализованным за эти сутки. А энергия этого центра вычислялась как сумма энергий этих землетрясений.

Первые слабые (высотой до 500 м) пепловые выбросы были отмечены 15 февраля, рисунок 5. В дальнейшем наблюдалось усиление вулканической активности эксплозивного извержения из центрального кратера с высотой пепловых выбросов до 10 км над уровнем моря и излиянием 3-х лавовых потоков, протяженностью несколько километров. Максимальная фаза извержения произошла в мае-июне. К концу июля извержение постепенно ослабло и прекратилось. 20 февраля и 16 марта сотрудники лаборатории ИСВА передали в КФ РЭС прогнозы развития активизации вулкана Ключевской, которые впоследствии в целом оправдались.

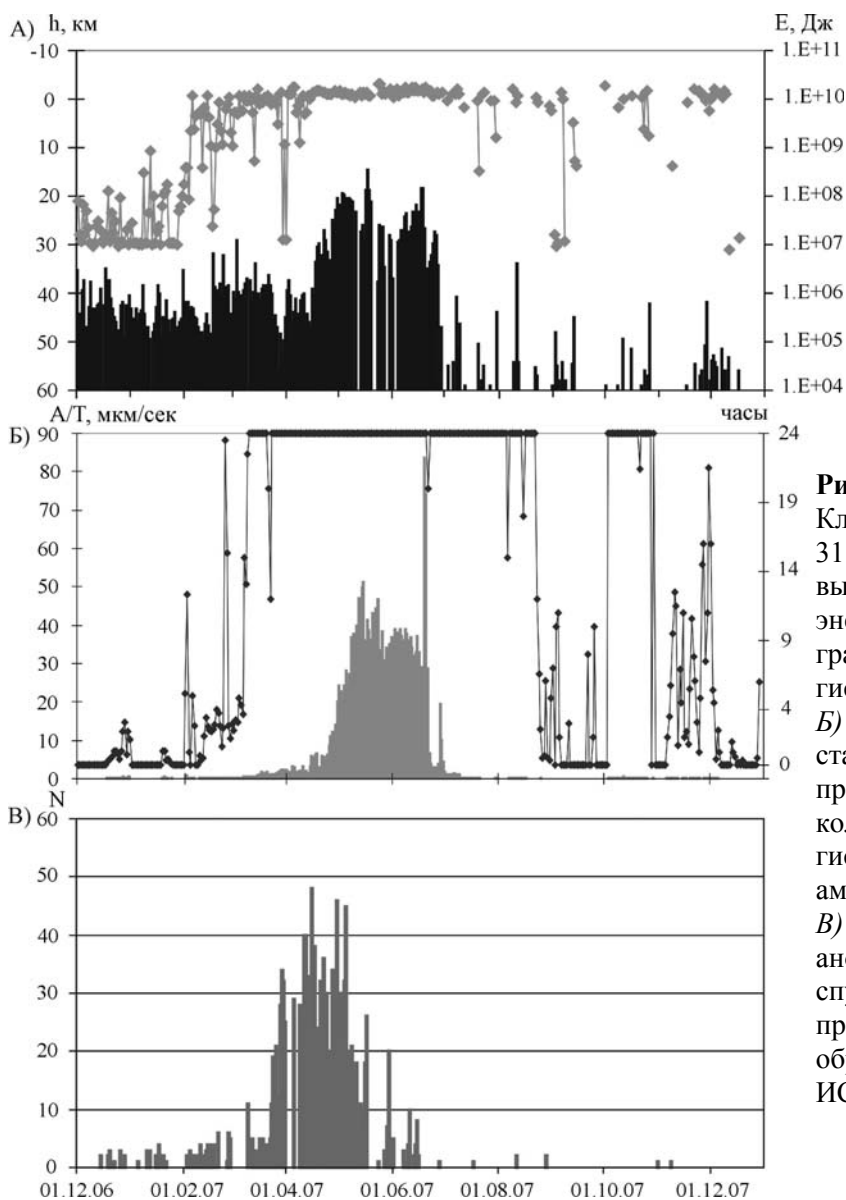


Рис. 4. Активность вулкана Ключевской с 01.12.06 по 31.12.07: *А)* изменение центра выделенной сейсмической энергии во времени: график – глубина центра, гистограмма – энергия центра; *Б)* вулканическое дрожание по станции CIR: график – продолжительность дрожания, количество часов за сутки, гистограмма – максимальная амплитуда дрожания; *В)* размер термальной аномалии в пикселях. Данные спутников NOAA16 и NOAA17 предоставлены КЦСМ, обработка – лаборатория ИСВА КФ ГС РАН.

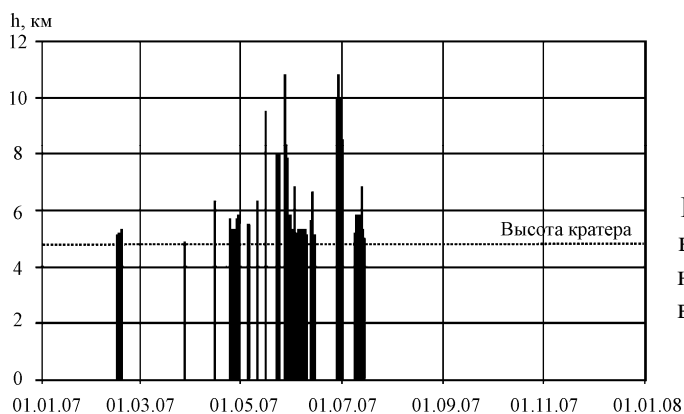


Рис. 5. Газо-пепловые выбросы в Ключевской по видео и визуальным данным, высота выбросов в км над уровнем моря.

Вулкан Безымянный.

В сентябре 2007 г. были введены в систему наблюдений две новые телеметрические станции («BZW» и «BZG») в районе вулкана Безымянный, что улучшило возможности сейсмических наблюдений для Северной группы, рисунок 6.

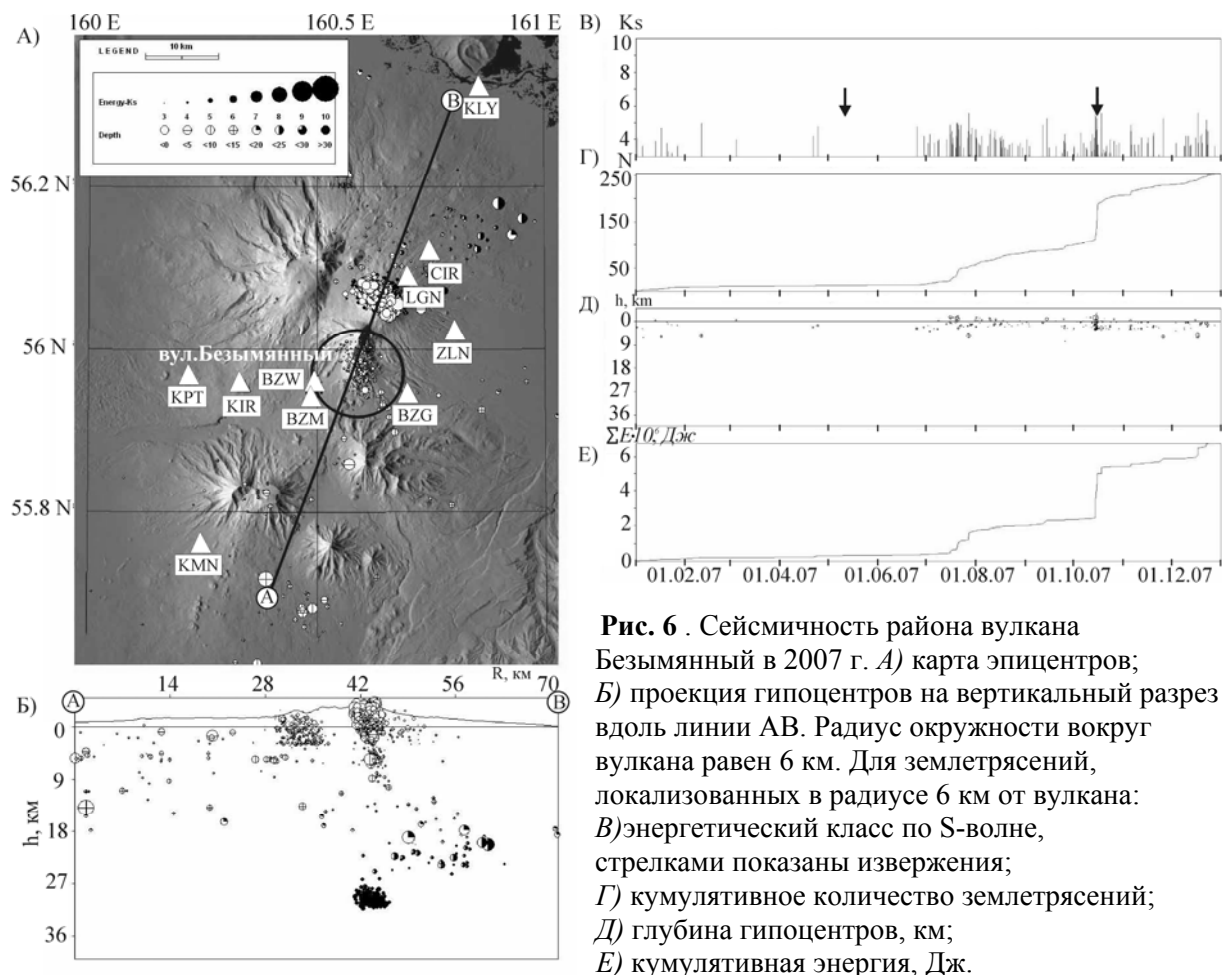


Рис. 6 . Сейсмичность района вулкана Безымянный в 2007 г. А) карта эпицентров; Б) проекция гипоцентров на вертикальный разрез вдоль линии АВ. Радиус окружности вокруг вулкана равен 6 км. Для землетрясений, локализованных в радиусе 6 км от вулкана: В) энергетический класс по S-волне, стрелками показаны извержения; Г) кумулятивное количество землетрясений; Д) глубина гипоцентров, км; Е) кумулятивная энергия, Дж.

По спутниковым данным в районе вулкана Безымянный постоянно регистрируется термальная аномалия, рисунок 7. Это свидетельствует о том, что горячий материал находится близко к поверхности и вулкан может начать извергаться без сильной предварительной сейсмической подготовки.

В 2007 г вулкан извергался 2 раза, 11 мая и 14-15 октября.

В мае 2007 г. наблюдалось мощное вершинное извержение вулкана Ключевской. Сопровождавшее это извержение вулканическое дрожание было таким сильным, что сейсмический мониторинг вулкана Безымянного был невозможен, рисунок 6.

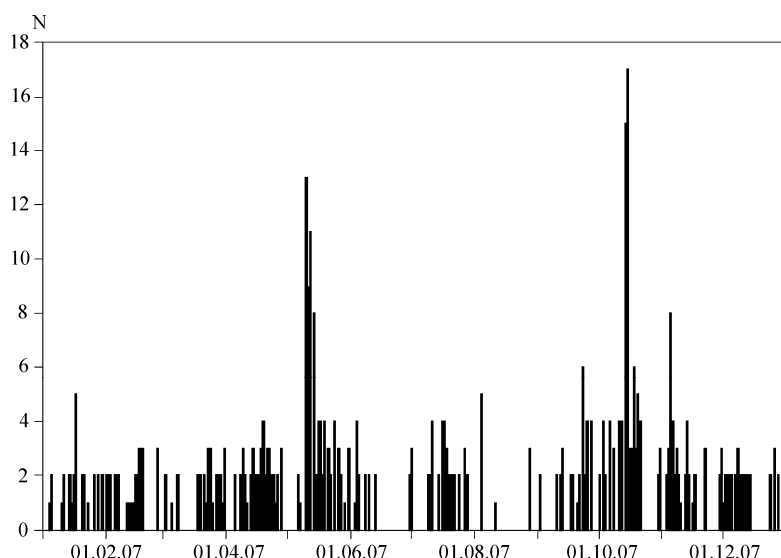


Рис. 7. Термальная аномалия, размер в пикселях. Данные со спутников NOAA16 и NOAA17 предоставлены КЦСМ, обработка – лаборатория ИСВА КФ ГС РАН.

С 5 по 10 мая вулкан был закрыт облачностью, поэтому визуальные наблюдения тоже отсутствовали. По измерениям сотрудников лаборатории ИСВА 10 мая значение разницы температуры термальной аномалии на вулкане Безымянный и температуры аномалии на лавовом потоке из Второго конуса Северного прорыва Большого трещинного Толбачинского извержения (II конус СП БТТИ – 1975) было равно 62.9 градуса Цельсия, хотя обычно в это время года оно меньше нуля. Это послужило основанием для краткосрочного прогноза извержения на ближайшие 10 дней. Прогноз был передан дежурными сотрудниками лаборатории ИСВА в КФ РЭС 10 мая. По сейсмическим данным можно, с некоторой долей условности, определить, что максимальная фаза извержения произошла 11 мая с ~14 h 45 m до ~15 h 10 m UTC. Но на спутниковом снимке за 10:08 UTC 11 мая, рисунок 8, виден пепловый шлейф от вулкана Безымянный, который соединяется с пепловым шлейфом от вулкана Ключевской. Это свидетельствует о том, что извержение началось раньше, чем 10:08 UTC 11 мая.

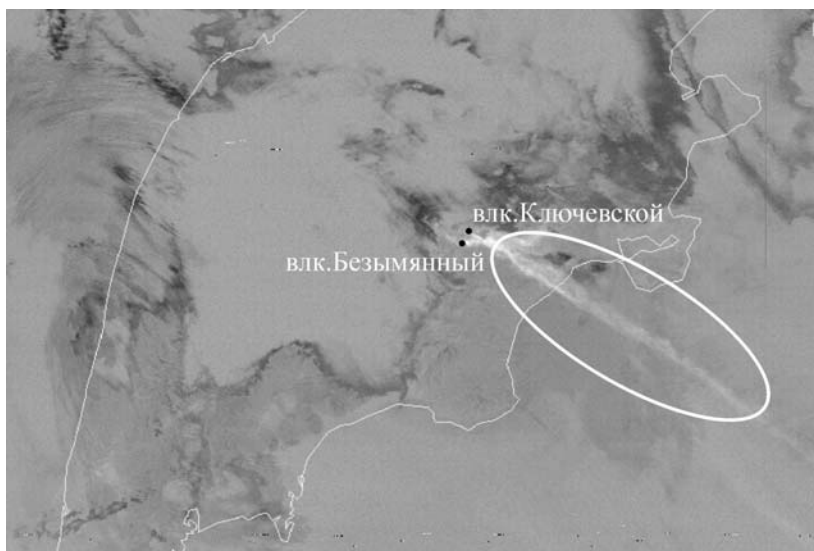


Рис. 8. Спутниковый снимок NOAA17 (band 4-5, 11 мая 10:08 UTC) с пепловыми шлейфами (белого цвета) от извержений вулканов Безымянный и Ключевской. Данные предоставлены Камчатским Центром Связи и Мониторинга, обработка – лаборатория ИСВА КФ ГС РАН.

Для извержения 14-15 октября 2007 г. не был сделан прогноз, несмотря на то, что в 2004-2007 гг. сотрудниками лаборатории ИСВА были успешно спрогнозированы 6 извержений вулкана Безымянный без пропусков и ложных тревог с помощью алгоритма прогноза его извержений по сейсмическим и спутниковым данным [8]. Это произошло,

потому что подготовка к извержению происходила не по обычному сценарию, который был положен в основу алгоритма. Температура аномалии на вулкане значительно выросла за 3 дня до извержения. Было дано предупреждение о возможности извержения. 11 октября значение разницы температуры термальной аномалии на вулкане Безымянный и температуры аномалии на лавовом потоке II конуса СП БТТИ – 1975 было равно 20.9 градуса Цельсия, но при этом по сейсмическим данным не регистрировались лавины. По анализу спутниковых и видео данных за 11 октября 2007 г. было сделано предположение, что причиной повышения температуры аномалии могло быть необычно мощное истечение газов с высокой температурой. По видеоданным в это время наблюдалась мощная парогазовая деятельность высотой до 1.5 км над куполом вулкана. Сейсмическая подготовка началась всего за 2 дня до начала извержения и была слабой.

По сейсмическим данным максимальная фаза извержения произошла 14 октября с 14:27 до 16:30 UTC и 15 октября с 02:23 до 14:00 UTC 2007 г. Высота пепловых выбросов по визуальным данным достигала высоты 9 км над уровнем моря. По спутниковым данным был зафиксирован сход пирокластического потока.

Вулкан Карымский. В исследуемый период вулкан Карымский продолжал извергаться. Ближайшая телеметрическая станция «KRY» расположена на юго-восточном склоне вулкана в 1.5 км от кратера (рисунок 9), что обеспечивает уровень регистрации по одной станции землетрясений класса 1.0 и выше.

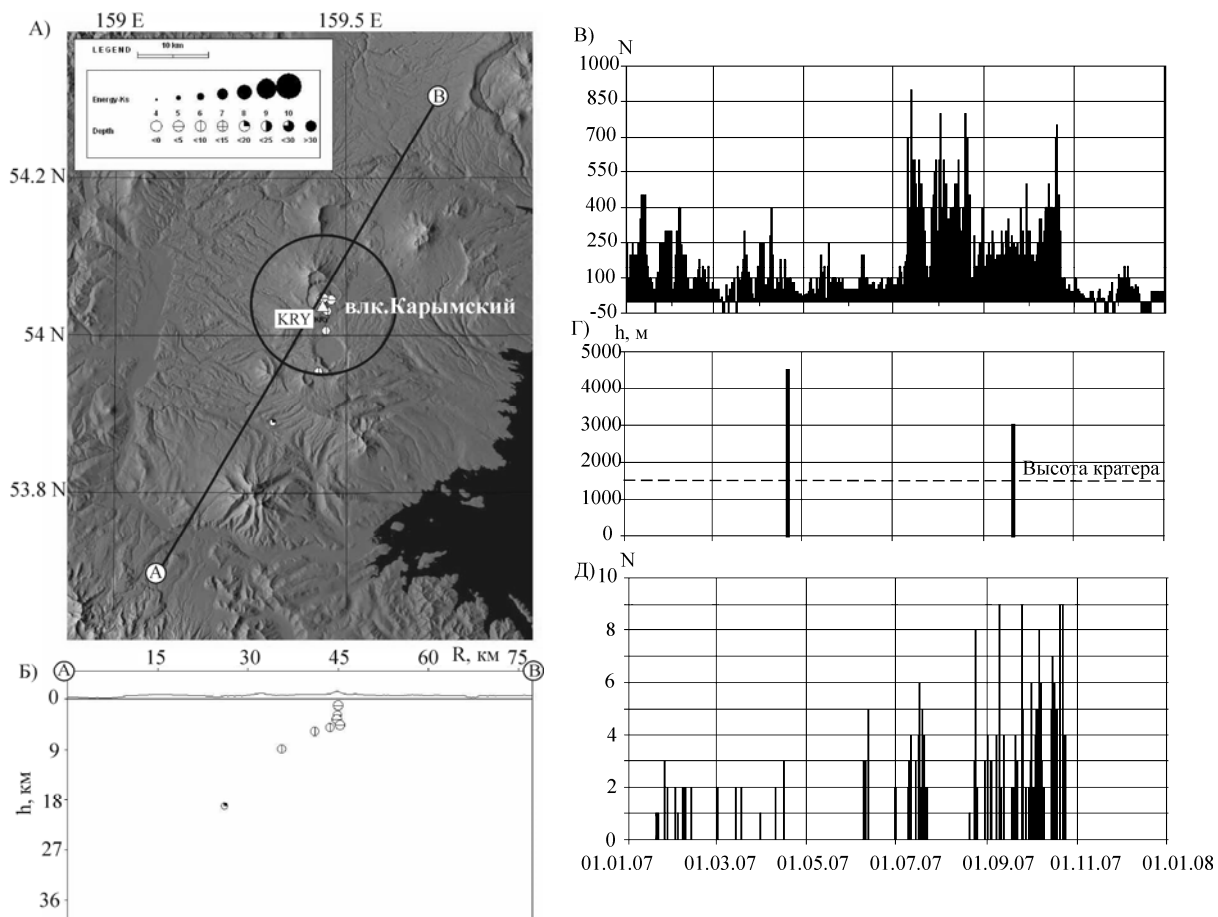


Рис. 9. Активность вулкана Карымский в 2007 году. А) карта эпицентров; Б) проекция гипоцентров на вертикальный разрез вдоль линии АВ. Радиус окружности вокруг вулкана равен 10 км; В) количество слабых локальных землетрясений (-50 означает отсутствие данных); Г) пепловые выбросы по визуальным данным, высота в метрах над уровнем моря; Д) размер термальной аномалии в пикселях.

Другие телеметрические станции расположены на расстоянии свыше 100 км и могут обеспечить локализацию землетрясений по трем станциям с занесением в базу дан-

ных только с класса 6.5. На рисунке 9 А) и Б) показано положение вулкана, карта эпицентров, проекция гипоцентров на вертикальный разрез. Все основные выводы о деятельности вулкана были сделаны по данным только одной станции «KRY». На рисунке 9 В) представлено количество локальных ($2 < K_s < 6$) поверхностных землетрясений, большинство из которых - это взрывы в кратере.

График наглядно представляет периоды усиления и ослабления активности вулкана. На рисунке 9 Д) представлены данные о размере термальной аномалии на вулкане. В отсутствие визуальных наблюдений, появление и рост термальной аномалии наряду с сейсмическими данными является хорошим доказательством возможного извержения горячего магматического материала в виде лавового потока или обломочной лавины. Информация только о двух пепловых выбросах была получена в режиме реального времени от пилотов и научных сотрудников, рисунок 9 Г). Это составляет малый процент от общего числа пепловых выбросов, если проводить совместный анализ сейсмических и визуальных данных. Иногда пепловые облака регистрировались на спутниковых снимках, рисунок 10.

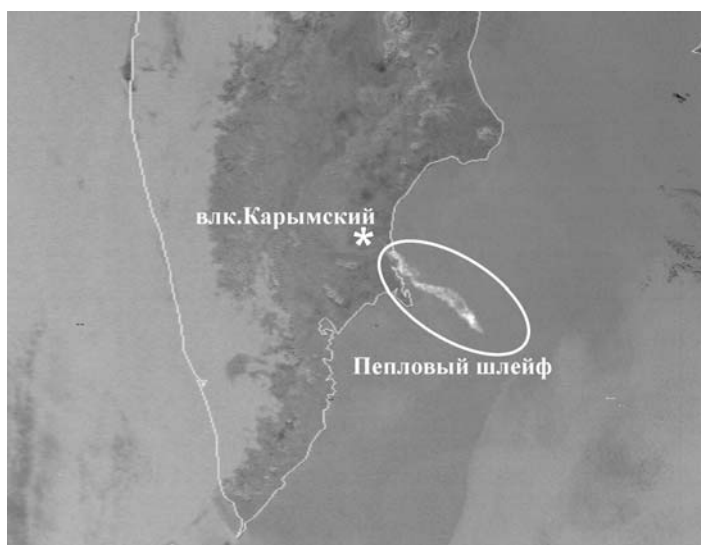


Рис.10. Спутниковый снимок NOAA17 (band4-5, 23:26 UTC 2 сентября 2007 г.) с пепловым облаком от извержения вулкана Карымский. Данные со спутника NOAA17 предоставлены КЦСМ, обработка – лаборатория ИСВА.

В 2007 г. было передано 57 срочных сообщений в рамках проекта KVERT об опасных для авиации пепловых выбросах на вулкане Карымский, выделенных по сейсмическим и спутниковым данным.

Вулканы Мутновский и Горелый расположены в 70 км к югу от г. Петропавловска – Камчатского, рисунок 11. Ближайшая телеметрическая станция (GRL) находится на склоне вулкана Горелый в 4-х км от его кратера и в ~12 км от активной воронки вулкана Мутновский.

В 2007 г. с июля по декабрь регистрировалось вулканическое дрожание по станции GRL, амплитуда которого достигала значения 2 мкм/сек (рисунок 11В), но определить положение источника этого дрожания невозможно по данным только одной станции. На вулкане Мутновский в апреле сотрудниками ИВиС (Мельников Д.В., Гавриленко Г.М.) была обнаружена воронка диаметром 200 м. Гипотеза о взрывном происхождении этой воронки не подтверждается сейсмическими данными, возможно, это был провал. По спутниковым данным в районе этого вулкана была отмечена слабая термальная аномалия в следующие дни: 10 и 11 апреля; 22 июля; 2, 29 и 31 августа, 2 и 3 сентября. В исследуемый период сотрудниками КФ ГС наблюдалась только фумарольная деятельность на вулканах Мутновский и Горелый.

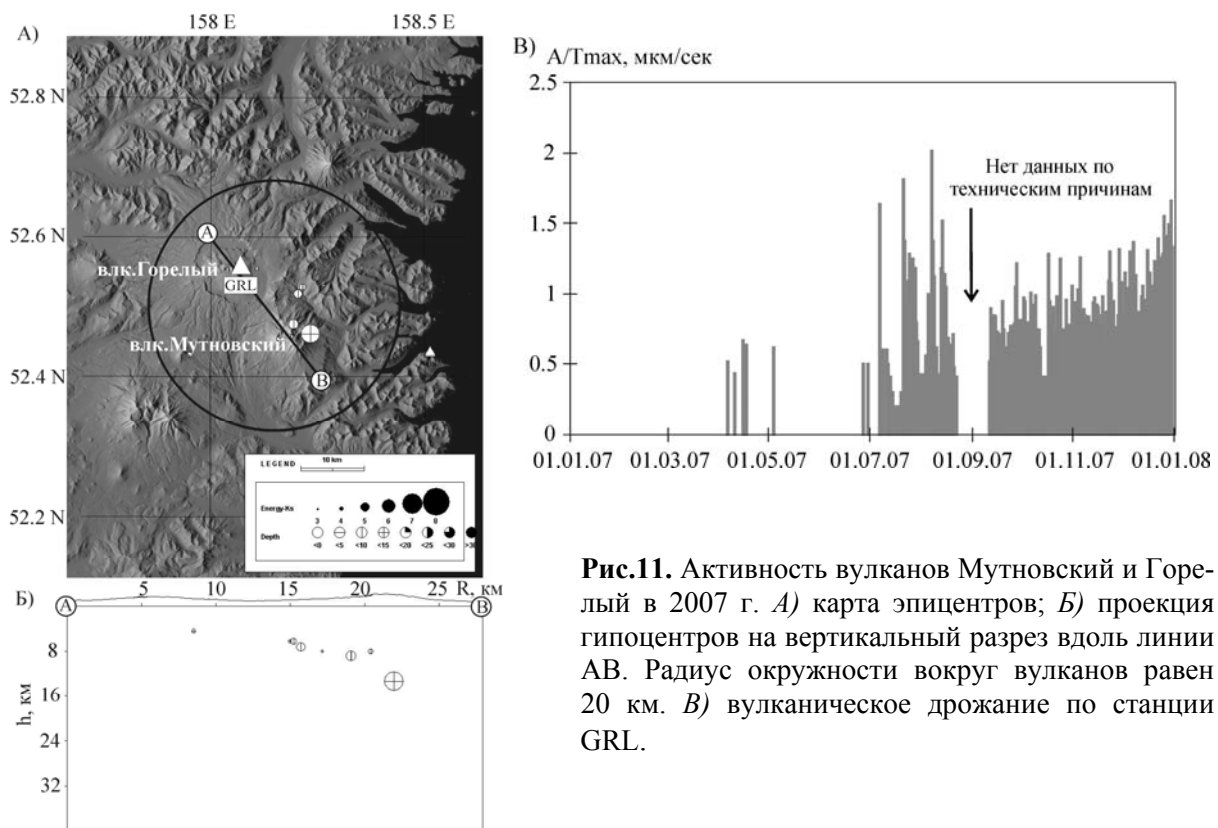


Рис.11. Активность вулканов Мутновский и Горелый в 2007 г. *А)* карта эпицентров; *Б)* проекция гипоцентров на вертикальный разрез вдоль линии АВ. Радиус окружности вокруг вулканов равен 20 км. *В)* вулканическое дрожание по станции GRL.

Заклучение

В 2007 г., как и ранее [5], проводился мониторинг активности действующих вулканов с целью оценки вулканической опасности. Информация ежедневно публиковалась в Интернете: <http://emsd.iks.ru/~ssl/monitoring/main.htm>. В 2007 г. были активны следующие вулканы: Шивелуч, Ключевской, Безымянный, Карымский и Мутновский.

Вулкан Шивелуч начал извергаться 04 декабря 2006 г. и продолжал извергаться до конца 2007 г. Высота наиболее сильных выбросов достигала 10 км над уровнем моря, фиксировались сходы пирокластических потоков и лавин.

Произошло мощное вершинное извержение вулкана Ключевской. Активизация вулкана началась в середине декабря 2006 г. Первые слабые (высотой до 500 м) пепловые выбросы были отмечены 15 февраля. В дальнейшем наблюдалось усиление вулканической активности эксплозивного извержения из центрального кратера с высотой пепловых выбросов до 10 км над уровнем моря и изливанием 3-х лавовых потоков, протяженностью несколько километров. Максимальная фаза извержения произошла в мае-июне. К концу июля извержение постепенно ослабло и прекратилось. 20 февраля и 16 марта сотрудники лаборатории ИСВА передали в КФ РЭС прогнозы развития активизации вулкана Ключевской, которые впоследствии в целом оправдались.

Вулкан Безымянный извергался два раза: 11 мая и 14-15 октября. Майское извержение было успешно спрогнозировано за сутки до извержения группой сотрудников лаборатории ИСВА по спутниковым данным. Для извержения 14-15 октября 2007 г. было дано предупреждение о возможности извержения.

Вулкан Карымский продолжал извергаться в течение всего года.

В 2007 г. в районе вулканов Мутновский и Горелый в период с июля по декабрь регистрировалось вулканическое дрожание до 2 мкм/сек. Несколько раз была отмечена слабая термальная аномалия на вулкане Мутновский.

На остальных вулканах наблюдалась «нормальная, фоновая» сейсмичность. По визуальным данным и спутниковым наблюдениям никаких проявлений вулканической активности, представляющих реальную опасность (пепловые выбросы, лавовые потоки, лавины из раскаленного материала), отмечено не было.

В 2007 г. в рамках проекта KVERT было передано 243 срочных сообщения об опасных для авиации пепловых выбросах вулканов Шивелуч (138 сообщений), Ключевской (39 сообщений), Безымянный (3 сообщения), Карымский (57 сообщений), выделенных по сейсмическим, спутниковым, визуальным или видео данным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Действующие вулканы Камчатки // Под ред. Федотова С.А., Масуренкова Ю.П. М.: Наука, 1991. Т. 1. С. 106-138.
2. *Гирина О.А., Сеньюков С.Л., Нил К.А.* Камчатская группа реагирования на вулканические извержения (проект KVERT) в 2002-2004 годах. Материалы IV международного совещания по процессам в зонах субдукции Японской, Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. Петропавловск-Камчатский 21-27 августа 2004 г. С.31-33.
3. *Кирьянов В.Ю., Чубарова О.С., Сеньюков С.Л. и др.* Группа по обеспечению безопасности полетов от вулканических пеплов (КВЕРТ): 8 лет деятельности // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. ИВГиГ ДВО РАН. Петропавловск-Камчатский 2001. С.408-423.
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. *Сеньюков С.Л., Дрознина С.Я., Гарбузова В.Т., Нuzhdина И.Н. и др.* Исследования вулканов Камчатки дистанционными методами в 2006 г. //Материалы ежегодной конференции, посвященной Дню вулканолога. Петропавловск-Камчатский: Издательство ИВиС ДВО РАН, 2007. С. 61-75.
6. *Токарев П.И.* Вулканические землетрясения Камчатки. М.: Наука, 1981. 164 с.
7. *Федотов С.А.* Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. М.: Наука, 1972. 117 с.
8. *Senyukov S.L.* Algorithm of the eruption prediction of Bezymianny volcano (Kamchatka)//Thesis of 5th Biennial Workshop on Subduction emphasizing the Japan-Kuril-Kamchatka-Aleutian Arcs (JKASP-5), Sapporo, July 2006, P. 57.

MONITORING OF ACTIVE KAMCHATKAN VOLCANOES USING REMOTE METHODS IN 2007

S.L. Senyukov, S.Y. Droznina, I.N. Nuzhdina, V.T. Garbuzova, T.Y. Kozhevnikova, S.L. Toloknova, O.V. Sobolevskaya

Kamchatkan Branch of the Geophysical Survey of the RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006, RUSSIA. e-mail: ssl@emsd.ru

Kamchatkan Branch of the Geophysical Survey (KBGS) RAS has been monitoring volcanic activity since February 2000 (<http://emsd.iks.ru/~ssl/monitoring/main.htm>) using three remote methods: 1) Seismic monitoring is a leading method (processing and interpretation of the data from automatic telemetric seismic stations); 2) Visual and video observation; 3) Satellite observation. Processing and interpretation of the sensor AVHRR data from satellite NOAA. Data from KCCM (Kamchatsky Centre of Communication and Monitoring). All periods of activity were fixed and investigated by remote methods in 2007. Sheveluch, Kluchevskoy, Bezymianny and Karymsky volcanoes had the eruptions this year. One successful short-term eruption prediction (time and size) for Bezymianny volcano was made by Research Laboratory of Seismic and Volcanic Activity (KBGS) and passed to Kamchatkan Branch of Russian Advisory Council.