## СЕЙСМИЧНОСТЬ РАЙОНА ВУЛКАНА ЖУПАНОВСКИЙ В 2000-2015 гг.

Сенюков С.Л., Нуждина И.Н., Дрознина С.Я., Кожевникова Т.Ю., Назарова З.А., Соболевская О.В. Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г.Петропавловск-Камчатский, ssl@emsd.ru

**Введение.** Вулкан Жупановский расположен в юго-восточном вулканическом поясе Камчатки и представляет собой восточную часть Дзензур-Жупановского вулканического хребта, образованную четырьмя слившимися конусами стратовулканов. Абсолютная высота самого высокого конуса 2958 м, координаты: 54° 35'с.ш.,159° 17 'в.д. Исторические извержения 1776, 1882, 1925, 1929, 1940 и 1956-1957 гг. связаны с третьим конусом. Все извержения имели характер сравнительно небольших эксплозий [3]. В 2000-2015 гг. Камчатский филиал Геофизической службы (КФ ГС) РАН проводил ежедневный мониторинг сейсмичности вулкана по удаленным станциям, ближайшие из которых «SDL», «KRE», «KRX» расположены от него в 38-40 км в районе Авачинской группы вулканов (рис. 1). В статье приведены результаты сейсмического мониторинга, полученные в режиме, близком к реальному времени, а также результаты ретроспективного анализа для будущей оценки состояния и прогноза деятельности вулкана.

Сейсмологические наблюдения и результаты. Первое пробуждение вулкана после 56-ти летнего периода фумарольной деятельности началось примерно в 15 часов UTC 23 октября 2013 г.



с образования трещины и новой фумаролы, из которой в течение двух суток извергались пепел и газ [6]. Новая фумарола продолжила ряд ранее существующих фумарол, расположенных вдоль радиальной трещины на западном склоне третьего конуса. На рис. 1 представлены карта С эпицентрами проекция гипоцентров И на вертикальный разрез, а на рис. 2 - графики параметров землетрясений, выделенных 2000-2009 гг. окружностью на рис. 1А. В землетрясений определение параметров программы проводилось помошью HIPO с Мельникова [5], а в 2010-2015 гг. по программе «DIMAS» [1] с использованием регионального годографа И.П. Кузина [2]. С 2000 г. по 2012 г. было локализовано всего 30 событий. Перед новой некоторое активизацией можно отметить усиление сейсмической активности в августе 2013 г., когда было локализовано 8 событий с максимальным классом 5.4 из 18 произошедших в 2013 г. К сожалению, из-за удаленности станций от вулкана (рис. 1) точность локации очагов землетрясений невысока, и средняя ошибка в плане равна ~7 км. Энергетический класс событий по S волне получился в диапазоне 3.9 ≤ Ks ≤ 6.7, а глубина варьирует от вершины до 30 км (рис. 2). На рис.2А можно отметить, что в районе вулкана Жупановский в 2002 г. и в 2007 г. произошли землетрясения с большим классом, чем в 2013 г., но без видимых последствий.

Рис. 1. Сейсмичность вулкана Жупановский с 01.01.2000 по 31.07.2015: А) карта эпицентров; Б) проекция гипоцентров на вертикальный разрез вдоль линии А-В. 1- сейсмическая станция; 2- активный вулкан; 3 окружность, радиусом 20 км, оконтуривающая область выборки землетрясений; пунктиром обозначен тектонический разлом [4].



Рис. 2. Графики распределения параметров землетрясений района вулкана Жупановского (окружность на рис. 1А): А) энергетический класс по S-волне; Б) кумулятивное количество землетрясений; В) глубина гипоцентров; Г) кумулятивная энергия.

В 2014 г. сейсмическая и вулканическая активности значительно увеличились. В радиусе 20 км от вершины вулкана было локализовано 222 землетрясения во всем диапазоне глубин земной коры (-2.3≤h≤38.4). Землетрясение с максимальным классом (Ks=8.4) произошло 29 января 08<sup>h</sup>22<sup>m</sup> UTC на глубине 9.6 км под постройкой вулкана.

По наблюдениям В.П. Яремчука, инспектора КБГУ Природного парка «Вулканы Камчатки», выбросы вулканического газа и пепла возобновились 8 апреля 2014 г. в ~14 часов UTC. Эта вулканическая активность хорошо совпала с апрельской сейсмической активизацией (рис. 2). В дальнейшем, до конца года, можно отметить усиление силы и частоты эксплозивных извержений. По сейсмическим данным регистрировались поверхностные события, возможно сопровождавшие по нашей интерпретации газо-пепловые выбросы и сход раскаленных лавин (рис. 3).

Большую помощь по контролю вулкана при отсутствии видео и визуальных наблюдений оказал космонавт Олег Германович Артемьев «Роскосмос» своими снимками со станции МКС, переданными в режиме, близком к реальному времени, за период с июня по сентябрь 2014 г. в рамках программы «Мониторинг вулканов Курило-Камчатской островной дуги» под руководством д.г.-м.н. А.П. Хренова (ИГЕМ РАН). С 18 июня 2014 г. информация о состоянии вулкана Жупановский стала помещаться в интернет по адресу <u>http://www.emsd.ru/~ssl/monitoring/main.htm</u>.



Рис. 3. Сейсмограмма сейсмостанции «KRX» с сейсмическим событием, сопровождавшим пепловый выброс, зафиксированный спутниковым снимком. Справа от сейсмограммы временная спектрограмма, показывающая изменение преобладающей частоты.

В 2015 г. рост вулканической и сейсмической активности вулкана продолжился. 13 мая 2015 г. на станции NLC (рис.1) была установлена система видео мониторинга за вулканом Жупановский, что значительно облегчило сбор информации об активности вулкана. За период с 1 января по 31 июля в районе вулкана было локализовано 116 землетрясений в диапазоне глубин -  $2.1 \le h \le 24.9$ . Землетрясение с максимальным классом (Ks=8.4) произошло на глубине h=14.7 км под постройкой вулкана 20 февраля в  $20^{h}21^{m}$  UTC. Мощное эксплозивное извержение, сопровождавшееся серией сильных поверхностных событий в течение 12 минут, произошло 12 июля в  $06^{h}26^{m}$  UTC. В результате эксплозивной активности произошел обвал южного сектора конуса Приемыш и сход селевых потоков (сообщение Н. Горбач, сотрудник ИВиС).

Отсутствие близко расположенной к вулкану сейсмической станции существенно осложняет его мониторинг. Исходя из предшествующего опыта, по сейсмологическим данным можно уверенно выделять сигналы, соответствующие пепловым выбросам, если удаление опорной сейсмостанции от эруптивного центра не превышает 10 км. Это связано со значительным затуханием относительно высокочастотной части спектра в такой сильно поглощающей среде как шлак, слагающий верхнюю часть разреза под станцией приема. Но, тем не менее, была сделана попытка оценить возможности сейсмического метода для контроля силы эксплозивных извержений по имеющейся методике [7]. Сопоставление характеристик сейсмических сигналов от зарегистрированных пепловых выбросов по данным спутниковых, видео и визуальных наблюдений (табл.) показало, что на сейсмических записях ближайших к вулкану станций фиксируются сигналы только от пепловых выбросов с высотой более 6 км над уровнем моря (н.у.м.). По нашим оценкам высота пеплового выброса во время эксплозивного извержения 12 июля 2015 г. по сейсмическим данным превышала 10 км над уровнем моря. Следует отметить, что для оценки высоты по спутниковым данным АВО характерно постепенное занижение высоты облака с увеличением задержки снимка относительно начала события.

Для всего исследуемого периода (рис. 4А) и более детально для интервала с 01.01.2013 – 31.07.2015 (рис. 4Б) были построены графики изменения центра выделенной сейсмической энергии. Центр выделенной сейсмической энергии (ЦВСЭ) за выделенные сутки определялся как одно эквивалентное землетрясение с координатами очага, вычисленными как среднеарифметическое из координат землетрясений зарегистрированных за выбранные сутки с учетом веса, пропорционального энергии события. Энергия этого эквивалентного землетрясения равна сумме энергий выбранных событий.

Как видно из графиков, до активизации глубина ЦВСЭ в основном находилась ниже уровня моря в диапазоне глубин от 5 до 35 км. С усилением сейсмической и вулканической активности Жупановского вулкана наблюдается подъем ЦВСЭ. Практически все очаги землетрясений располагаются близко к уровню моря, а иногда и выше него.

| Дата и время<br>(UTC) начала<br>извержения | Про-<br>должи-<br>тель-<br>ность,<br>мин | Интеграл<br>абсолютной<br>скорости по<br>станции<br>SMA канал<br>SHN, y.e. | высота п<br>выброса (1<br>визуаль-<br>ные<br>и видео<br>данные | еплового<br>км, н.у.м.)<br>спутни-<br>ковые<br>данные | время<br>спутни-<br>кового<br>снимка<br>(UTC) | примечание                        |
|--|--|--|--|---|---|-----------------------------------|
| 19.06.14 12:58                             | 10                                       | 0.000041   |  | 3.8   | 16:24   | в 13:00 гул со<br>стороны вулкана |
| 27.07.14 01:13                             | 11                                       | 0.000115   |  | 3.5   | 2:25  |                                   |
| 07.09.14 00:05                             | 12                                       | 0.000114   |  | 10.0  | 1:23  |                                   |
| 07.09.14 02:41                             | 6  | 0.000058   |  | 10.0  | 3:39  |                                   |
| 11.10.14 16:52                             | 6  | 0.000124   |  | 8.0   | 17:14   |                                   |
| 07.11.14 21:55                             | 5  | 0.000170   |  | 12.0  | 22:05   | по данным Токио<br>VAAC           |
| 18.11.14 11:38                             | 5  | 0.000037   |  | 6.0   | 15:15   |                                   |
| 22.11.14 14:06                             | 10                                       | 0.000085   |  | 8.0   | 14:32   |                                   |
| 25.11.14 00:14                             | 6  | 0.000100   | 7.0  |   |   | видеонаблюдения в 00:25 UTC       |
| 06.01.15 14:07                             | 6  | 0.000161   |  | 4.0   | 14:34   |                                   |
| 17.01.15 05:58                             | 10                                       | 0.000332   |  | 4.0   | 17:31   |                                   |
| 15.03.15 8:44                              | 8  | 0.000191   |  | 4.3   | 9:15  | по данным Токио<br>VAAC           |
| 18.03.15 06:03                             | 5  | 0.000242   |  | 7.0   |   | по данным Токио<br>VAAC           |
| 25.03.15 04:06                             | 2  | 0.000002   | 6.0  |   |   | видеонаблюдения в 04:17 UTC       |
| 20.05.15 09:03                             | 5  | 0.000161   |  | 7.5   | 16:46   |                                   |
| 12.07.15 06:26                             | 12                                       | 0.003311   |  | 8.7   | 07:32   | обрушение третьего конуса         |

Таблица. Данные по регистрации пепловых выбросов на вулкане Жупановский.



Рис. 4. Изменение центра выделенной сейсмической энергии: А) для периода 01.01.2000 по 31.07.2015; Б) для периода 01.01.2013 по 31.07.2015.

Для землетрясений, локализованных в исследуемый период в радиусе 20 км от вершины вулкана, с помощью программы ZMAP [8] был определен представительный класс К <sub>пред.</sub>=4.3 при угле наклона γ=0.46.

## Заключение

Исследование сейсмичности вулкана Жупановский за период с 01.01.2000 по 31.07.2015 показало, что имеющаяся в наличии сеть станций не может обеспечить хороший мониторинг этого вулкана. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что в лучшем случае мы можем регистрировать наиболее сильные эксплозивные извержения на вулкане, но нет возможности делать какие-либо прогнозные оценки. Для успешного контроля его активности необходима установка сейсмических станций в районе вулкана на удалении не более 10 км. Это позволит существенно улучшить точность локации очагов землетрясений и регистрировать более слабые события с энергетическим классом ниже, чем Ks=4.3. Анализ потока сейсмических данных с этих станций в дальнейшем поможет разработать алгоритм прогноза активности и извержений вулкана Жупановский.

В заключение хотелось бы поблагодарить космонавта О.Г. Артемьева «Роскосмос» за снимки (рис.5) со станции МКС, переданные в режиме близком к реальному времени в рамках программы «Мониторинг вулканов Курило-Камчатской островной дуги» под руководством д.г.-м.н. А.П. Хренова (ИГЕМ РАН), сотрудника КГБУ Природный парк «Вулканы Камчатки» В.П. Яремчука за сообщения об извержениях и фотографии, а также сотрудников ИВиС ДВО РАН Александра и Марину Белоусовых за предоставленные материалы по наблюдению за вулканом.



Рис. 5. Извержение вулкана Жупановский. Фото космонавта Олега Артемьева «Роскосмос» со станции МКС 16 июля 2014 г. Съемка выполнена в рамках программы «Мониторинг вулканов Курило-Камчатской островной дуги» руководством д.г.-м.н. А.П. Хренова (ИГЕМ РАН).

## Список литературы

1. Дрознин Д.В., Дрознина С.Я. Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Сейсмические приборы ИФЗ РАН. Москва 2010 г. Т.46. № 3. С. 22-34.

2. Кузин И.П. Фокальная зона и строение верхней мантии в районе Восточной Камчатки. М.: Наука, 1974. 132 с. 3. Масуренков Ю.П., Флоренский И.В., Мелекесцев И.В. Вулкан Жупановский // Действующие вулканы Камчатки. М: Наука, 1991. Т.2. С. 218-225.

4. Масуренков Ю.П. Тектоническое положение и краткая история развития вулканов Восточной Камчатки // Действующие вулканы Камчатки. М: Наука, 1991. Т.2. С. 8-13.

5. Мельников Ю.Ю. Пакет программ для определения координат гипоцентров землетрясений Камчатки на ЭВМ // Вулканология и сейсмология. 1990. № 5. С. 103-112.

6. Самойленко С.Б., Мельников Д.В., Чирков С.А., Маневич Т.М. Активизация Жупановского вулкана в 2013-2014 гг. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2014. №1. Выпуск 23. С.21-26.

7. Senyukov S.L., Droznina S.Ya., Kozhevnikova T.Yu. Experience of the detection of ash plume and estimation its height using local seismicity for Kamchatkan volcanoes during 2003-2011 (Kamchatka Peninsula, Russia) // Complex monitoring of volcanic activity: methods and results, New York: Nova Science Publishers, Inc., 2013, p.35-52.

8. Wiemer S. A software package to analyze seismicity: ZMAP, Seism.Res.Lett. 2001, V.72. P. 373-382.