



УДК 551.214

О. А. Гирина¹, Ю. В. Демянчук¹, В. О. Давыдова²,
П. Ю. Плечов²

¹ Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
e-mail: girina@kscnet.ru

² Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
геологический ф-т, Москва, 119 992

Извержение вулкана Безымянный 1 сентября 2012 г., его прогноз и продукты

Эксплозивные извержения вулкана Безымянный с выбросом пеплов до 15 км н. у. м. происходят почти ежегодно, начиная с 1977 г. Извержение 1 сентября 2012 г. было предсказано за 11 ч до события.

Введение

Безымянный — один из самых активных вулканов мира. После катастрофического извержения 30 марта 1956 г. рост лавового купола в его эксплозивном кратере продолжается непрерывно до настоящего времени. Начиная с 1977 г. отмечается цикличность развития лавового купола: при подготовке к эксплозивной фазе извержения на вершине купола наблюдается выжимание жёстких блоков лавы (экструзивная фаза), затем происходят мощные взрывы (собственно эксплозивная фаза) с формированием пепловых туч и пирокластических потоков, заканчивается цикл излиянием вязких лавовых потоков на склон купола (эффузивная фаза).

Камчатская группа реагирования на вулканические извержения (KVERT — Kamchatkan Volcanic Eruption Response Team), как часть Института вулканологии и сейсмологии (ИВиС) ДВО РАН, ответственна за обеспечение информацией о вулканической деятельности международного аэронавигационного сообщества [1–2, 5], поэтому ею проводится непрерывный видео и спутниковый мониторинг активных вулканов Камчатки и Северных Курил, в том числе Безымянного.

С 1977 по 2013 гг. произошло 42 сильных эксплозивных извержения этого вулкана¹ с выбросом пеплов до 15 км над уровнем моря (н. у. м.), 10 из них были предсказаны О. А. Гириной, что позволило снизить опасность этого вулкана для авиации и населения [1, 4].

Подготовка эксплозивного извержения

После предыдущего извержения, наблюдавшегося 8 марта 2012 г. [3], вулкан Безымянный находился в состоянии умеренной активности: продолжалось медленное выжимание вязкого лавового потока на склон купола, этот процесс сопровождался силь-

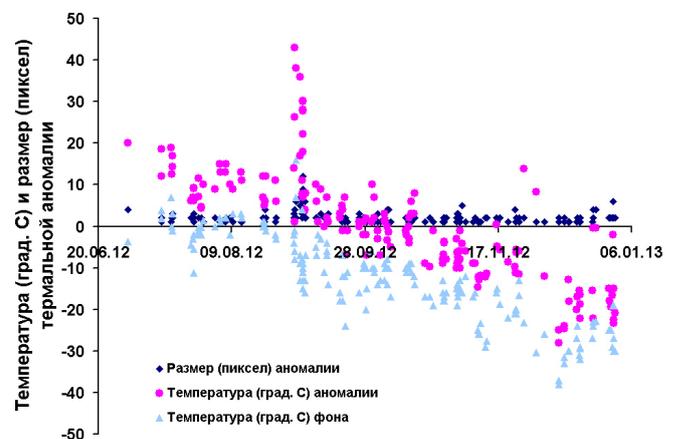


Рис. 1. Температура и размер термальной аномалии, регистрируемой в районе вулкана Безымянный в июле–декабре 2012 г., по данным группы KVERT ИВиС ДВО РАН и Аляскинской Вулканологической обсерватории США.

ной или умеренной парогазовой активностью вулкана. На спутниковых снимках в районе Безымянного непрерывно фиксировалась слабая термальная аномалия (рис. 1), поэтому Авиационный цветовой код вулкана (АЦКВ) в апреле–августе 2012 г. был Жёлтый².

С 22 августа сотрудники Камчатского филиала Геофизической службы (КФ ГС) РАН³ начали регистрировать серии поверхностных землетрясений в районе Безымянного, то есть активность вулкана усилилась. Вероятно, начала выжиматься экструзия на вершине вулкана, части которой обрушивались и по склонам купола скатывались раскалённые или холодные лавины. 22, 27 и 29 августа было отмечено по одной серии вулканических землетрясений,

¹<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/volcanoes/Bezymianny/index.php>

²<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/>

³<http://www.emsd.ru>



Рис. 2. Подъём пепловой колонны на 10–12 км н.у.м. в 19:30 UTC 1 сентября 2012 г. (а), перемещение мощного пеплового шлейфа на северо-восток от вулкана (б). Обе фотографии Ю. Демянчука.

31 августа — четыре. 28 августа в районе вулкана было зарегистрировано 17 сейсмических событий, 31 августа — 71. Хотя с 26 по 31 августа вулкан был закрыт облачностью, было ясно, что готовится его новое эксплозивное извержение.

Основываясь на опыте наблюдений за Безымянным в течение многих лет, в 08:13 UTC 1 сентября KVERT изменил АЦКВ с Жёлтого на Оранжевый; в прогнозе деятельности вулкана было указано: «Активность вулкана постепенно растёт. Сильные пепловые эксплозии до 15 км н. у. м. возможны в течение следующих трёх недель. Активность вулкана будет опасна для международной и местной авиации» (KVERT Release 2012–12⁴).

Эксплозивное извержение 1 сентября

Согласно сейсмическим данным КФ ГС РАН, *эксплозивное извержение началось в 19:16 UTC 1 сентября*⁵. В этот день было зарегистрировано 150 вулканических землетрясений, кроме этого, в момент извержения в течение часа было отмечено 12 серий сейсмических событий, отражавших, вероятно, обрушение пирокластического материала из эруптивной колонны и формирование пирокластического потока. Вулканическое дрожание продолжалось в течение 2 ч, его величина (отношение максимальных значений амплитуды (A) к периоду (T) — A/T)

составила 0,88 мкм/с. Дрожание, вероятно, было связано с формированием эруптивной колонны, т. е. с выносом ювенильного вещества при эксплозивной деятельности вулкана. Сначала пепел выбрасывался на 4 км н. у. м., но уже в 19:30 UTC пепловая колонна поднялась до 10–12 км н. у. м. и мощный пепловый шлейф начал перемещаться на северо-восток от вулкана (рис. 2). Прогноз извержения вулкана оправдался, время упреждения эксплозивных событий составило 11 ч.

Судя по спутниковым данным, эксплозивное извержение вулкана произошло на фоне общего снижения температуры аномалии в июле-августе (см. рис. 1). Резкое изменение размера аномалии до 10 пикселей и повышение её температуры до 43° C произошло именно в момент эксплозивного извержения. В течение первых 4-х дней после извержения, когда на лавовом куполе выжимались первые порции нового лавового потока, температура аномалии в районе вулкана достигала 36° C, затем она стала постепенно снижаться и до конца года не превышала 15° C (см. рис. 1).

На спутниковых снимках хорошо видно, что сначала пепловый шлейф двигался на северо-восток от вулкана, затем на восток-юго-восток и далее на восток (рис. 3а). По данным SACS (Support to Aviation Control Service⁶), шлейф, насыщенный SO₂,

⁴<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/index.php?n=2012-12>

⁵<http://www.emsd.ru/~ssl/monitoring/main.htm>

⁶<http://sacs.aeronomie.be>

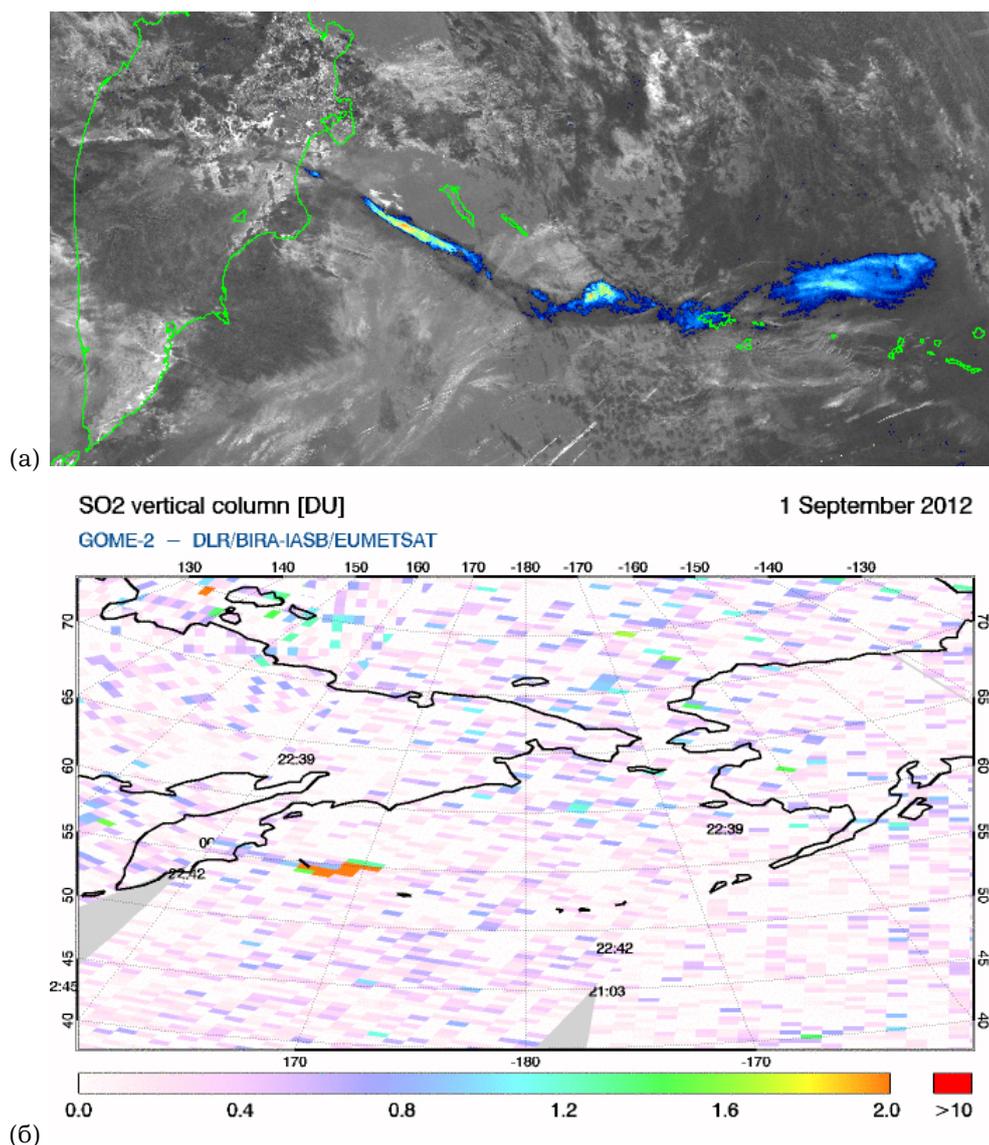


Рис. 3. Пепловый шлейф от вулкана Безымянный на снимке NOAA-19 (4m5) в 01:44 UTC 2 сентября 2012 г. Снимок предоставлен коллегами из Аляскинской Вулканологической обсерватории США (а). Шлейф, насыщенный SO_2 , перемещается на восток от вулкана Безымянный. Данные с сайта SACS multi-sensor warning of exceptional SO_2 concentration (<http://sacs.aeronomie.be>) (б).

перемещался на восток от вулкана Безымянный (рис. 3б). Облако, содержащее SO_2 (по данным прибора OMI/Aura) за период 2–3 сентября 2012 г. переместилось на 4500 км от вулкана — достигло центральной части Канады⁷.

4 сентября Ю. В. Демянчуком были опробованы свежие отложения пирокластического потока, длина которого в долине Восточной составила 3,5 км. Пирокластический поток был сложен песком серого цвета (заполнителем потока), в который были погружены обломки лавы андезита разного размера и различных окрасок (от белесых до чёрных).

Лавовый поток, излияние которого, как обычно, отмечалось после эксплозивной фазы извержения, был отмечен 4 сентября 2012 г. на юго-восточном

склоне лавового купола, длина его не превысила 100 м, однако на фотографиях, сделанных во второй половине мая 2013 г., хорошо видно, что тонкие свежие лавовые потоки перекрывают южную и западную части лавового купола (рис. 4).

Продукты извержения

Был детально изучен минеральный состав обломка лавы андезита из пирокластического потока этого извержения. Лава свежего облика, светло-серого цвета со слабым болотно-коричневым оттенком на сколе, пористая. Поры преимущественно мелкие, иногда размером до 4 мм, часто они соединены между собой. Отмечается значительное количество вкрапленников плагиоклаза размером от 0,5 до 3 мм.

Описание шлифов проводилось при помощи микроскопа Olympus BX53. Порода неполнокристалли-

⁷http://www.kscnet.ru/webusers/dvm/bzm_02092012



Рис. 4. Лавовые потоки на южном и юго-западном склонах лавового купола вулкана Безымянный 26 мая 2013 г. Фото Л. Фигуры.

ческая, серийно-порфировой структуры. Вкрапленники (размером 0,2–3,0 мм) и микролиты представлены плагиоклазом (резко доминирует), орто- и клинопироксеном, рудными минералами и редкими реликтами амфиболов.

В породе отмечаются различные сечения кристаллов плагиоклаза — от изометричных до призматических. Наибольшее отношение длины к ширине (до 5 : 1) представлены у мелких вкрапленников (длиной до 0,7 мм). Вкрапленники плагиоклаза обладают ритмичной зональностью, полисинтетически сдвойникованы (ширина отдельных двойников достигает 50 мкм) и имеют одну или несколько зон резорбции. Большая часть крупных вкрапленников (больше 0,5 мм) и незначительная часть более мелких характеризуются наличием резорбированных ядер и чистой зональной каймой шириной до 0,5 мм (рис. 5а). У других вкрапленников присутствуют ядра с различными степенями растворения и одна чётко различимая, довольно узкая (обычно меньше 50 мкм) зона резорбции (рис. 5б). Такие вкрапленники характеризуются довольно кислыми ядрами (An_{46} – An_{54}), вероятно, фиксирующими равновесие с расплавом в магматическом очаге перед поступлением свежей порции магмы. Наиболее основные плагиоклазы — битовнит An_{60-80} отмечаются в зо-

нах растворения. Для третьего типа вкрапленников (преимущественно, размером меньше 0,7 мм) и микролитов следов растворения не наблюдается. Для таких вкрапленников наиболее основной плагиоклаз достигает An_{83} , а наиболее кислый — An_{46} , и их состав сходен с составом микролитов. В среднем же колебания состава в ритмично-зональных вкрапленниках относительно ровные и варьируют в пределах An_{50} – An_{65} . В небольшом количестве представлены мезовкрапленники с нормальной зональностью.

Пироксены встречаются в виде мелких вкрапленников (отдельных, в сростках с другими пироксенами, плагиоклазом, рудными минералами или в гломеропорфировых сростках (рис. 5в) и микролитов. Для вкрапленников пироксенов характерно наличие слабо выраженной прямой зональности. Ортопироксены несколько более распространены, чем клинопироксены и образуют призматические кристаллы (соотношение длины к ширине до 4 : 1) размером до 1 мм, зачастую они зональны (рис. 5г), встречаются в виде включений в плагиоклазах и в сростках с клинопироксеном. Клинопироксены содержат зоны роста, богатые расплавленными и твердофазными включениями; они образуют вкрапленники (до 0,7 мм, чаще — меньше) призматической формы, часто имеющие простые двойники.

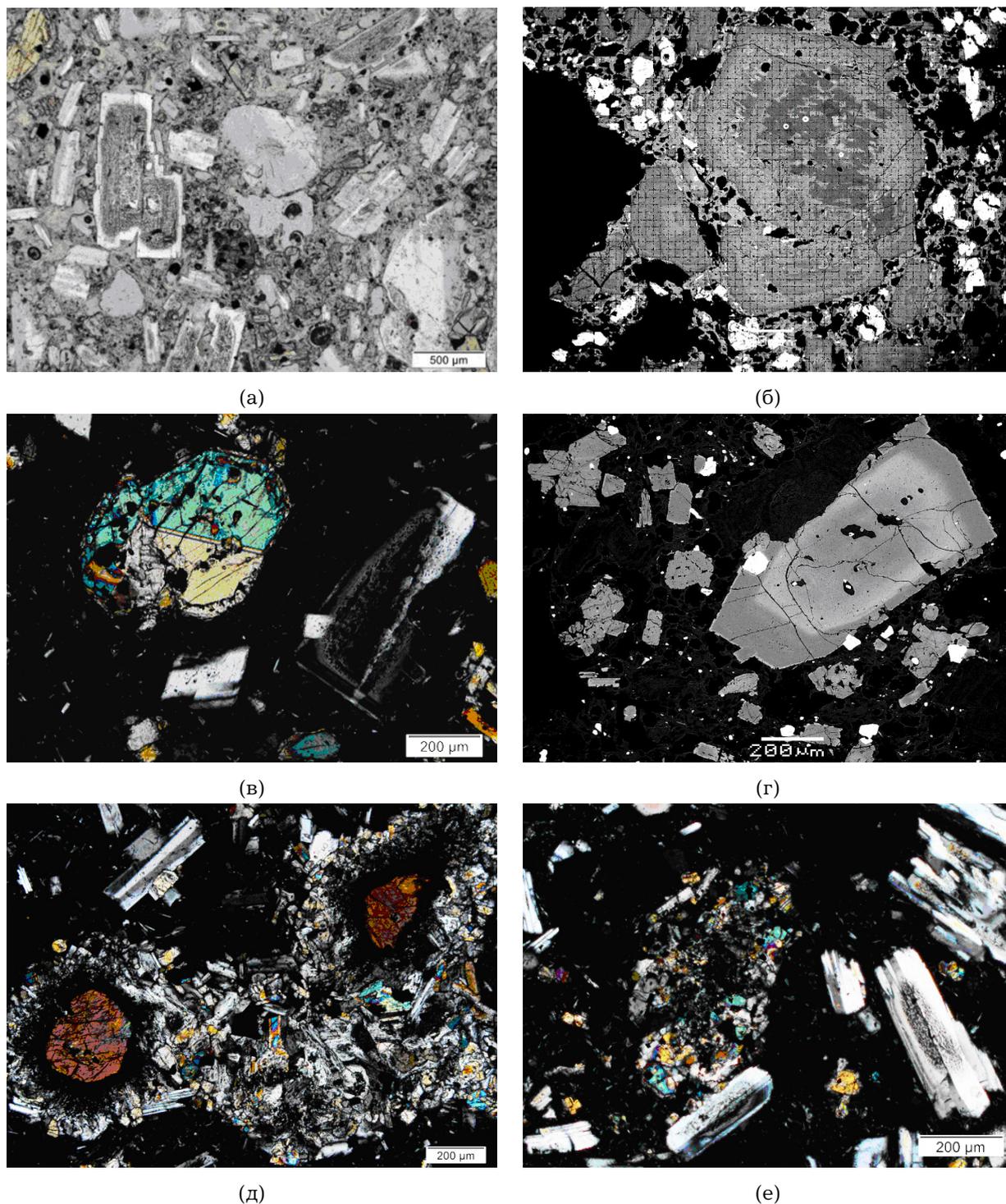


Рис. 5. Вкрапленники в лаве, изверженной 1 сентября 2012 г.: плагиоклаз (а, б); двойникованный кристалл клинопироксена (фото в скрещенных николях) (в) и зональный вкрапленник ортопироксена (г); амфибол с каймами опацитизации (фото в скрещенных николях) (д); полиминеральное обособление, состоящее из пироксенов, рудного минерала и плагиоклаза (фото в скрещенных николях) (е).

Рудный минерал представлен титаномагнетитом, формирует небольшие (до 0,2 мм) вкрапленники и встречается в основной массе.

В породе обнаружены два опацитизированных зерна роговой обманки размером около 300 мкм (рис. 5д). Опацитовая кайма зональна, внутренняя

зона содержит больше магнетита, чем внешняя. Реликты роговой обманки окружены полнокристаллическим агрегатом, сложенным плагиоклазом, орто- и клинопироксеном, и редким рудным минералом. Размерность слагающих агрегат зёрен увеличивается от центральной к внешней зоне.

В шлифе также наблюдаются плотные полиминеральные обособления, практически не содержащие пор и стекла, сложенные рудным минералом, пироксенами и обрастающие плагиоклазами по краям (рис. 5е).

Основная масса пористая, состоит из микролитов и вулканического стекла. Среди микролитов резко преобладает плагиоклаз, присутствует небольшое количество пироксенов и рудных минералов. Стекло риолитового состава заполняет промежутки между микролитами, иногда образуя отдельные обособления.

Условия кристаллизации изверженных лав

По двупироксеновым сросткам была оценена температура равновесия сосуществования клино — и ортопироксена (по калибровке [7]). Полученные температуры лежат в диапазоне 950–965°С, вероятно, отвечающем состоянию приповерхностного магматического очага.

Присутствующие в породе слабо изменённые кристаллы амфибола также позволяют получить оценки Т-Р условий [6]. Полученные температуры лежат в диапазоне 1010–1035°С, давления — 770–950 МПа, что свидетельствует о поступлении более горячей магмы из глубинного источника незадолго до извержения.

Основные характеристики извержения Безымянного 1 сентября 2012 г.

1. Извержение вулкана предварялось постепенным ростом сейсмической активности вулкана⁸.

2. Вероятно, повышение сейсмической активности вулкана отражало активизацию экструзивных процессов на вершине лавового купола и обрушение, в связи с этим, холодных и раскалённых лавин.

3. Во время эксплозивной фазы извержения вулкана пепловые облака поднимались до 12 км н. у. м., пепловый шлейф протягивался на расстояние более 4000 км на северо-восток — восток от вулкана. Пеплопады не затронули населённые пункты Камчатки.

4. Были сформированы: отложения пирокластических потоков длиной 3,5 км в долине Восточной; лавовый поток на южном и юго-западном склонах купола Новый.

5. Восстановление условий формирования лав андезитов показало вероятное существование приповерхностного магматического очага с $T = 950\text{--}965^\circ\text{C}$, а также поступление перед эксплозивным извержением порции магмы с $T = 1010\text{--}1035^\circ\text{C}$.

Список литературы

1. Гирина О. А. О предвестнике извержений вулканов Камчатки, основанном на данных спутникового мониторинга // Вулканология и сейсмология. 2012. № 3. С. 14–22.
2. Гирина О. А., Гордеев Е. И. Проект KVERT — снижение вулканической опасности для авиации при эксплозивных извержениях вулканов Камчатки и Северных Курил // Вестник ДВО РАН. 2007. С. 100–109.
3. Гирина О. А., Демянчук Ю. В. Извержение вулкана Безымянный в 2012 г. по данным KVERT // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы традиционной региональной научной конференции, посвящённой Дню вулканолога (к 50-летию ИВиС ДВО РАН), 29–30 марта 2012 г., Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. С. 32–35.
4. Girina O. Modern Activity of Bezymianny Volcano and Danger to Aviation // Japan Geoscience Union Meeting. 2012. Makuhari Messe. May 20–25. No: 01 814.
5. Neal Ch., Girina O, Senyukov S. et al. Russian eruption warning systems for aviation // Natural Hazards. Springer Netherlands. 2009. Vol. 51. № 2. P. 245–262.
6. Ridolfi F., Renzulli A., Puerini M. Stability and chemical equilibrium of amphibole in calc-alkaline magmas: an overview, new thermobarometric formulations and application to subduction-related volcanoes // Contributions to Mineralogy and Petrology. 2010. Vol. 160. P. 45–66.
7. Wells P. R. A. Pyroxene Thermometry in Simple and Complex // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1977. Vol. 62. P. 129–139.

⁸<http://www.emsd.ru/~ssl/monitoring/main.htm>