

УДК 551.21

Т. М. Маневич, Н. А. Малик, А. Г. Маневич, А. А. Овсянников

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
e-mail: lav217@kscnet.ru*

Пирокластика извержения вулкана Карымский в 2005–2011 гг.

Приведены результаты изучения тефры вулкана Карымский в 2005–2011 гг. Отбор пепла производился, в основном, методом геохимической снегосъёмки, что дало возможность получить информацию о всех пеплопадах за сезоны снегонакопления (с ноября по апрель). Масса изверженного пепла за период 2005–2011 гг. составила около 10 млн. т.

Введение

Вулкан Карымский — один из активнейших вулканов Камчатки [6, 11], входит в Карымский долгоживущий вулканический центр, расположенный в центральной части Восточного вулканического пояса.

Вулкан Карымский начал формироваться около 5000 л. н. в кальдере, образовавшейся после сильного извержения 7800 л. н. Сегодня это типичный стратовулкан центрального типа высотой около 1500 м, сложенный потоками лавы с прослоями пирокластики [7]. Относительная высота конуса около 600 м, диаметр основания 1100 м, объём 0,8 км³.

Для этого вулкана характерны эксплозивные или эксплозивно-эффузивные извержения. Состав изверженного материала — андезиты и дациты. Основным типом извержения является вулканский, сменяющийся в некоторые периоды вулканско-стромболианским [5].

Со времени появления первых исторических сведений (1771 г.) наблюдалось более 20 извержений с периодами покоя до 10 лет. Последний эруптивный цикл длился с 1970 по 1982 гг. [8]. Активность в этот период характеризовалась небольшими эпизодическими лавовыми потоками и умеренной эксплозивной деятельностью. Затем наступил самый длинный период покоя в XX столетии.

Очередное извержение началось 2 января 1996 г. До 2004 г. на склоны вулкана изливались небольшие лавовые потоки. Последние лавовые образования (лавовый купол в кратере) отмечались в декабре 2005 г. [1], после чего извержение перешло в эксплозивную фазу (рис. 1).

Методы

Во время полевых работ проводился отбор образцов пирокластики из снежных шурфов и пеплосборников и визуальные наблюдения за активностью вулкана.

В условиях Восточной Камчатки, где снежный покров залегает до 8 месяцев в году, предоставляет-

ся возможность получать данные об извержениях с использованием метода геохимической снегосъёмки. Суть метода заключается в том, что в течение холодного сезона (с октября–ноября по май) в снежной толще накапливается и, благодаря консервирующим свойствам снега, послойно сохраняется изверженный пирокластический материал (рис. 2).

Распределение пепловых горизонтов в снежной толще зависит от двух факторов: собственно вулканического, то есть частоты пеплопадов, и метеорологического — осадков (в данном случае, выпадающих в виде снега) и температуры воздуха. Необходимо учитывать, что при положительных температурах, которые могут отмечаться в зимний период, снег, припылённый пеплом, подтаивает и уплотняется, и несколько пепловых горизонтов могут объединиться в один.

Пробы снега с пеплом, растаявшие при комнатной температуре, фильтровались. После измерения объёма полученного фильтрата проводился его гидрохимический анализ. Полученные пеплы высуши-



Рис. 1. Эксплозия вулкана Карымский 21 апреля 2007 г.

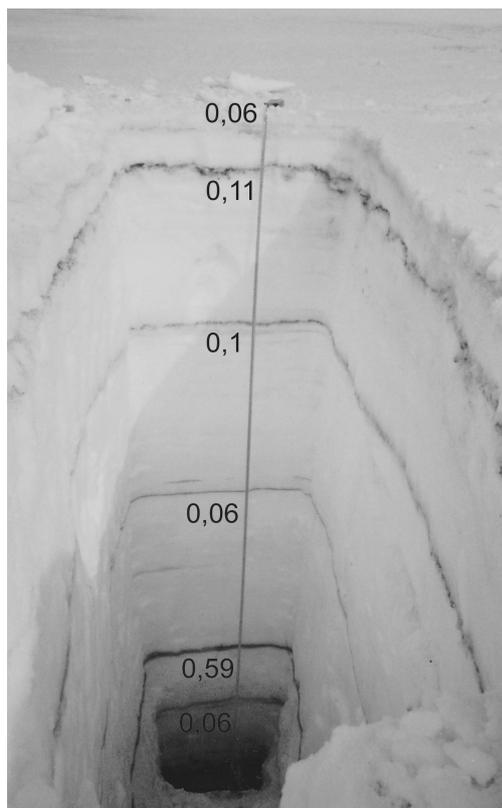


Рис. 2. Снежный шурф. Цифрами обозначена масса пепла $\text{кг}/\text{м}^2$.

вались, взвешивались, а их масса пересчитывалась на площадь отбора пробы. В дальнейшем пробы пепла подвергались гранулометрическому и химическому анализам. Результаты химического анализа снеговых вытяжек пересчитывались на 100 г пепла (через объём талого снега и массу пепла в пробе).

Изучение снежной толщи и отбор образцов в конце зимнего сезона даёт возможность получить информацию практически обо всех пеплопадах, произошедших за зиму, проследить изменения в характере извержения и химическом составе изверженных пород, оценить объёмы вещества и химических примесей, поступивших в природную среду.

Для получения более полного и точного представления о ходе извержения необходимо учитывать ряд независимых данных, таких как: метеорологические показатели (в данном случае количество твёрдых осадков, температура воздуха, роза ветров) с ближайшей метеостанции, спутниковые и аэрофотоснимки, сейсмичность вулкана.

Основная часть полевых работ в указанный период, за исключением 2006 г., проводилась в апреле, когда мощность снежного покрова максимальна. В 2006 г. работы проводились в июле, но, так как зима 2005–2006 гг. отличалась многоснежностью, то в пределах Карымской кальдеры ещё сохранялось достаточное количество снежников для отбора пепла с их поверхности. В 2005, 2007, 2009 гг. полевые работы проводились несколько раз в год.

Наблюдения за сейсмичностью вулкана Карымский постоянно ведутся автоматической сейсмостанцией, установленной на высоте 847 м в 1,7 км от его кратера, и передающей данные по телеметрическому каналу в Камчатский филиал Геофизической службы (КФ ГС) РАН.

Активность вулкана в 2005–2011 гг.

В указанный период извержение вулкана проявлялось в постоянной фумарольной и периодической взрывной деятельности различной интенсивности. Интервал между выбросами составлял от нескольких минут до нескольких недель. По визуальным и сейсмическим данным отмечались периоды покоя, например, с 17 по 21 апреля и с 13 по 22 декабря 2007 г., с 9 по 23 апреля 2009 г., деятельность вулкана была только фумарольной.

Высота выбросов над кромкой кратера, чаще всего, составляла порядка 500 м, реже — 1000 м и больше. Обычно, изверженный материал поднимался над кратером в виде облака, после чего основная часть обломков выпадала на склоны конуса, а мелкая фракция распространялась дальше, в зависимости от силы и направления ветра (рис. 1). Парогазовые и пепловые шлейфы протягивались на расстояние до 300 км.

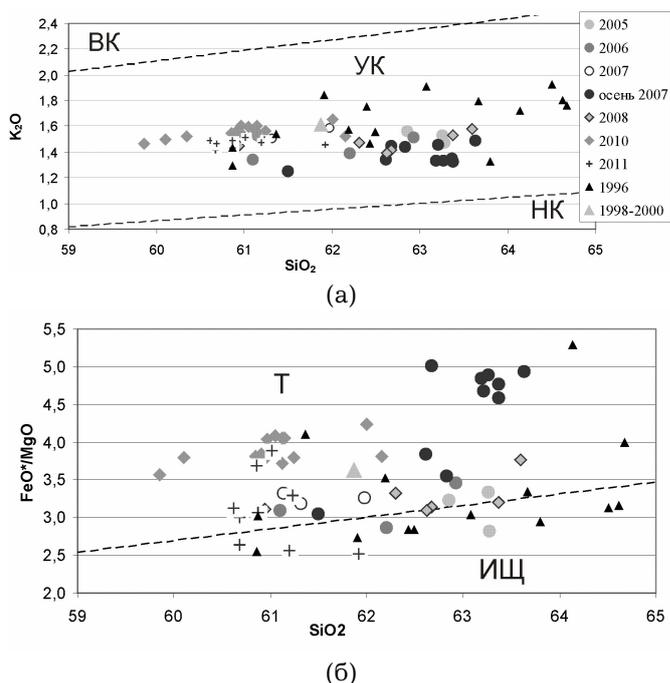


Рис. 3. Классификационные диаграммы для андезитов извержений вулкана Карымский (мас. %) 1996–2011 гг.: а — поле составов умеренно калиевых (УК) пород; б — граница между полями пород известково-щелочной (ИЩ) и толеитовой (Т) серий. Химический состав пород 1996 г. дан по [7], 1998–2000 гг. — по [10]. Химический анализ тefры 2005–2011 гг. выполнен в Аналитическом центре ИВиС ДВО РАН, результаты пересчитаны на безводную основу.

Таблица 1. Химический состав продуктов извержения вулкана Карымский в 2005–2011 гг., мас. %

Компоненты	2005	2006	2007	осень 2007	2008	2010	2011
SiO ₂	62,0	61,4	61,2	62,2	62,7	61,1	59,5
TiO ₂	1,05	0,93	0,98	0,964	1,01	1,08	0,75
Al ₂ O ₃	15,6	16,4	16,4	15,2	14,9	15,6	15,6
Fe ₂ O ₃	2,33	1,57	2,28	3,14	2,45	3,3	3,07
FeO	4,23	4,81	4,32	4,06	4,39	4,11	4,88
MnO	0,16	0,14	0,15	0,15	0,146	0,15	0,16
CaO	5,51	5,3	5,25	5,45	6,6	5,27	5,34
MgO	1,96	2,17	1,95	1,47	5,07	1,67	2,55
Na ₂ O	4,11	4,46	4,44	4,16	2,06	4,44	4,61
K ₂ O	1,54	1,37	1,57	1,43	4,5	1,63	1,39
P ₂ O ₅	0,21	0,20	0,21	0,17	1,51	0,19	0,21
п.п.п	1,15	1,21	1,26	1,16	0,20	0,83	1,12

Примечание. Приведены результаты химического анализа пепла, отобранного на расстоянии 3 км от вершины вулкана, для осени 2007 г. — бомбы, отобранной на склоне конуса. Химический анализ выполнен в Аналитическом центре ИВУС ДВО РАН на рентгенофлуоресцентном спектрометре «S4 PIONEER».

Летом 2006 г. в радиусе до 6 км от кратера вся растительность была покрыта слоем пепла, а на расстоянии 2 км листья ольхового стланика были пробиты насквозь острыми угловатыми обломками тефры.

К апрелю (время проведения ежегодных полевых работ) поверхность снега была полностью покрыта пеплом в радиусе до 10–15 км от вулкана, а в снежной толще накапливалось от 2 до 14 пепловых горизонтов.

В апреле 2005 г. на южном склоне вулкана на высоте 800–900 м н. у. м. был обнаружен ещё не остывший пирокластический поток, который, вероятно, сошёл во время активизации в марте.

В сентябре 2005 г. при облёте в кратере был обнаружен лавовый купол [1], который существовал ещё в декабре 2005 г. Летом 2006 г. кратер вулкана был пустой, таким образом, купол, очевидно, был разрушен зимой-весной 2006 г.

Результаты

В процессе полевых работ за 7 лет было отобрано более 500 проб пирокластического материала и несколько образцов вулканических бомб. 37 образцов отобраны из пеплосборников, остальные — из снежной толщи.

По данным исследований, ежегодно на земную поверхность поставлялось от 1 до 2 млн. тонн пепла, общая масса изверженного пепла за период 2005–2011 гг. составила около 10 млн. т.

По химическому составу изверженные породы отвечают андезитам с вариацией основных окислов за период в пределах: SiO₂ 59,5–62,7%, Al₂O₃ 14,7–17,1%, Fe₂O₃ 1,2–4,2%, FeO 3,9–5%, MgO 1,5–2,6%, CaO 5,1–6,2%, Na₂O 4–4,8%, K₂O 1,3–1,6% (табл. 1, рис. 3, 4). По показателю железистости

продукты извержения относятся в большей степени к толеитовой серии (рис. 4б). По сравнению с пеплами текущего извержения, поступившими на поверхность в 1996–2000 гг., результаты химического анализа тефры за рассматриваемый период выявили следующие изменения: незначительное уменьшение содержания оксида калия, при увеличении общей щёлочности за счёт оксида натрия; увеличение содержания оксида магния и кальция, суммарного железа при преобладании двухвалентного (60–70% от суммарного). В содержании кремнекислоты в тефре также можно предположить тенденцию к уменьшению за весь период извержения (с 1996 г.).

Минерализация вытяжек из пеплов, отобранных на расстояниях 1,5–10 км от вулкана изменяется в пределах 50–400 мг на 100 г (табл. 1) и зависит, по-видимому, от гранулометрического состава пепла. В целом, это меньше, чем на других андезитовых вулканах, что, вероятно, связано с преобладанием более крупной фракции пепла. Среди анионов, которые отражают состав вулканических газов преобладает сульфат-ион, далее — хлорид — и в меньшей степени — фторид-ионы. Соотношение сульфат — и хлорид-ионов в пересчете на S/Cl изменяется от 0,4 до 5, но большинство вытяжек имеют значения близкие к среднему — 1 (рис. 5).

Ежегодно на территории, прилегающей к вулкану, в окружающую среду вместе с пеплом выносятся около 2,3 тыс. т. водорастворимых веществ.

Ниже приведены примеры эксплозий, которые удалось наблюдать визуально и пепел которых был отобран достаточно детально.

Пеплопад 21 апреля 2007 г. Во время полевых работ в 2007 г. с 17–21 апреля наблюдалась только парогазовая деятельность вулкана. 21 апреля 2007 г.

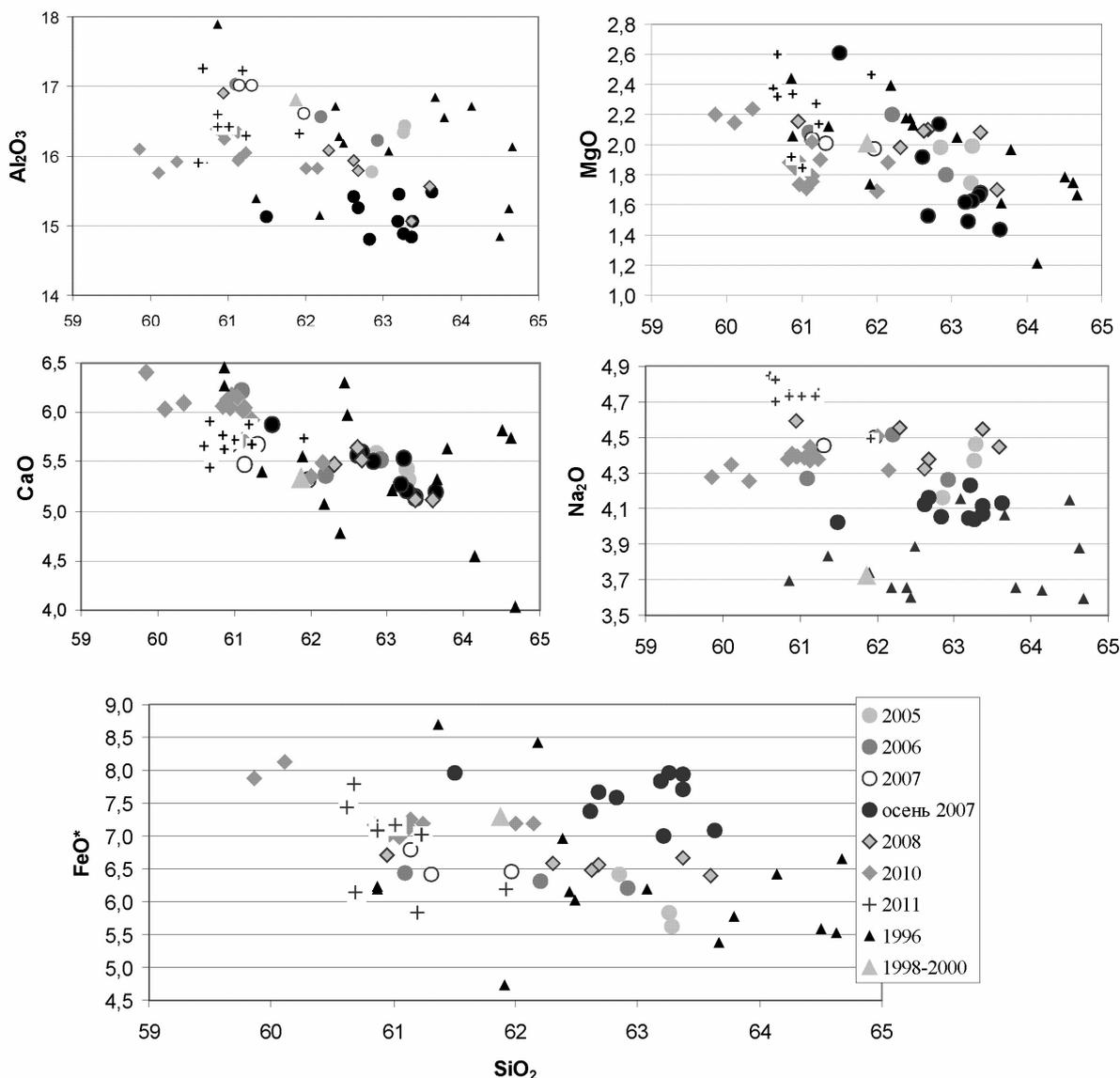


Рис. 4. Вариационные диаграммы для андезитов извержений вулкана Карымский (мас. %) 1996–2011 гг. Условные обозначения и пояснения см. рис. 3.

около 17:05 м.вр. (4:05 UTC) произошёл мощный пепловый выброс на высоту до 4,5 км н. у. м. с разбросом бомб на склоны конуса длительностью около 5 мин, затем последовало непрерывное истечение газопепловой смеси в течение ~25 мин до высоты примерно 1 км над вулканом. Шлейф от данной эксплозии длиной более 40 км распространился на юго-восток, ось пеплопада прошла в районе стационара, где выпало около 900 г/м². После этого до 27 апреля по визуальным наблюдениям и затем в течение 1,5 месяцев по сейсмическим и спутниковым данным вулкан находился в состоянии относительного покоя.

Площадные пробы пепла были отобраны в день выброса и в последующие 4 дня в 9 точках в основном поперёк оси пеплопада.

Гранулометрический состав пепла, отобранного на расстоянии 3,6–7,8 км от вулкана, имеет сравнительно крупнозернистый состав: фракция <0,1 достигает 43% в краевых частях пеплопада, частицы размером >2 мм присутствуют только в 3-х пробах и их содержание не превышает 1%, а фракция 0,5–2 мм достигает максимума (79%) к югу от оси пеплопада.

На основании массы пепла на единицу площади в 9 точках, и его гранулометрического состава, была подсчитана общая масса выброшенной пирокластики, которая составила 13 тыс. т.

Пеплопад 18 апреля 2010 г. Материал, изверженный 18 апреля 2010 г., удалось хорошо отобрать и изучить благодаря снегопаду 15 апреля — пепел отложился на свежем снегу и не успел смешаться

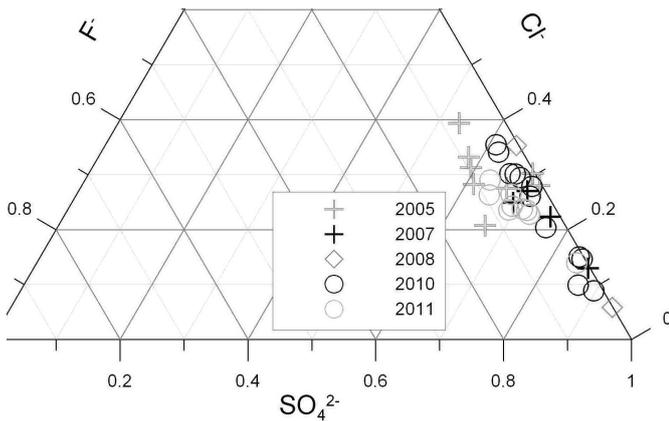


Рис. 5. Положение точек анионного состава водных вытяжек из пеплов вулкана Карымский на треугольной диаграмме (F^- , Cl^- , SO_4^{2-}).

с предыдущим слоем. Пепловый шлейф протянулся на юго-восток на 20 км. Ширина шлейфа достигла 10 км. Видимая южная граница пеплопада прошла почти через центр озера Карымское. Отбор пепла проводился с 18 по 20 апреля в 15 точках. Максимальное (зафиксированное) количество пепла выпало в районе стационара — 618 г/м^2 , что указывает на ось пеплопада; минимальное — $1,2 \text{ г/м}^2$ — на западном берегу озера. Объем изверженного материала составил 900 т. Существенных различий в химическом составе пеплов, отобранных в разных точках, не отмечено.

Заключение

В рассматриваемый период (2005–2011 гг.), за исключением 2005 г., когда в кратере наблюдалось выдавливание лавового купола, активность вулкана была эксплозивной.

Количество изверженного материала из года в год составляло 1–2 млн. т.

Ежегодно на территории, прилегающей к вулкану, в окружающую среду вместе с пеплом выносились около 2,3 тыс. т. водорастворимых веществ.

Значительных вариаций массы тefры не наблюдалось. По химическому составу тefра отвечает андезитам умеренно-калиевой серии с вариацией содержания SiO_2 в пределах 59,5–62,7%.

Авторы выражают благодарность И. И. Тембрелу, С. Б. Самойленко, С. В. Ушакову, Л. П. Аникину за помощь в отборе материала, сотрудникам АЦ ИВиС за выполнение химических анализов.

Список литературы

1. Андреев В. И., Магуськин М. А., Сенюков С. Л., Озеров А. Ю. Особенности извержения вулкана Карымский в 2005 г. // Материалы международного симпозиума «Проблемы эксплозивного вулканизма» 25–30 марта 2006 г. Петропавловск-Камчатский, 2006. С. 98–103.
2. Андреев В. И., Магуськин М. А., Сенюков С. Л. Активизация Карымского вулкана в 2001–2003 гг. и её влияние на окружающую среду // Материалы ежегодной конференции, посвящённой дню вулканолога. Петропавловск-Камчатский, 2004. С. 10–16.
3. Андреев В. И., Магуськин М. А., Озеров А. Ю. Состояние вулкана Карымский в 2007 г. // Материалы ежегодной конференции, посвящённой дню вулканолога, 27–29 марта 2008 г. Петропавловск-Камчатский, 2008. С. 3–10.
4. Вулканический центр: строение, динамика, вещество (Карымская структура) // Под. ред. Масуренкова Ю. П. М.: Наука, 1980. 300 с.
5. Действующие вулканы Камчатки: В 2 томах. Т. 2. М.: Наука, 1991. 415 с.
6. Иванов Б. В. Извержение Карымского вулкана в 1962–1965 гг. и вулканы Карымской группы. М.: Наука, 1970. 134 с.
7. Муравьёв Я. Д., Федотов С. А., Будников В. А. и др. Вулканическая деятельность в Карымском центре в 1996 г.: вершинное извержение Карымского вулкана и фреатомагматическое извержение в кальдере Академии Наук // Вулканология и сейсмология, 1997. № 5. С. 38–70.
8. Токарев П. И. Извержение и сейсмический режим Карымского вулкана в 1965–1986 гг. // Вулканология и сейсмология, 1989. № 2. С. 3–14.
9. Федотов С. А., Муравьёв Я. Д., Иванов В. В. и др. «Извержения в кальдере Академии наук и Карымского вулкана в 1996–1997 гг. и их воздействие на окружающую среду» // Глобальные изменения природной среды и климата. Избранные научные труды. Отдельный выпуск. Гл. редактор: Добрецов Н. Л., Коваленко В. И. Новосибирск. Изд-во СО РАН. НИЦ ОИГГМ, 1998. 350 с.
10. Федотов С. А., Озеров А. Ю., Магуськин М. А. и др. Извержения Карымского вулкана в 1998–2000 гг., связанные с ними сейсмические, геодинамические и поствулканические процессы, их воздействие на окружающую среду // В сборнике «Катастрофические процессы и их влияние на природную среду». Вулканизм. Т. 1. Москва. 2002. С. 117–160.
11. Хренов А. П., Дубик Ю. М., Иванов Б. В. и др. Эруптивная деятельность вулкана Карымский за 10 лет (1970–1989 гг.). // Вулканология и сейсмология, 1982. № 4. С. 29–48.