

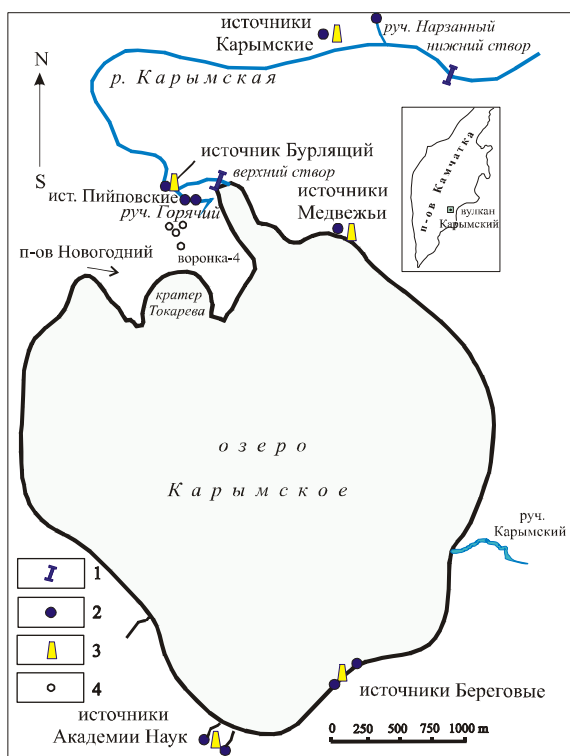
## О ВЛИЯНИИ ИЗВЕРЖЕНИЙ ВУЛКАНА КАРЫМСКОГО И КАЛЬДЕРЫ АКАДЕМИИ НАУК (КРАТЕРА ТОКАРЕВА) НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

В.И. Андреев, А.Г. Николаева

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006,  
e-mail: via@kscnet.ru

### Введение

Извержения в кальдере Академии Наук и вулкана Карымского, начавшиеся почти синхронно 01-02.01. 1996 г. [4], вызвали существенные изменения в рельефе и ландшафте окрестностей центров извержений. У северного берега Карымского озера, расположенного в кальдере Академии Наук, в результате извержения сформировался полуостров Новогодний (площадью 0.47 км<sup>2</sup>) с подводным кратером Токарева и несколькими сравнительно небольшими взрывными воронками почти в средней его части (рис. 1).



**Рис. 1.** Схема расположения термальных источников в кальдерах Академии Наук и Карымской: 1 - гидрологические створы на р. Карымской; 2 - места отбора проб воды; 3 - места отбора проб свободных газов; 4 - воронки взрыва 1996 г.

### Исходные данные

Река Карымская, вытекающая из одноименного озера, до извержения 1996 г. имела слабо минерализованную воду, близнейтральную реакцию и расход воды в ее истоке (в верхнем створе) в пределах 1.6-2.0 м<sup>3</sup>/сек. Температура воды в истоке реки Карымской определяется метеоусловиями и временами года и по многочисленным измерениям находится в пределах 2-16<sup>0</sup>С.

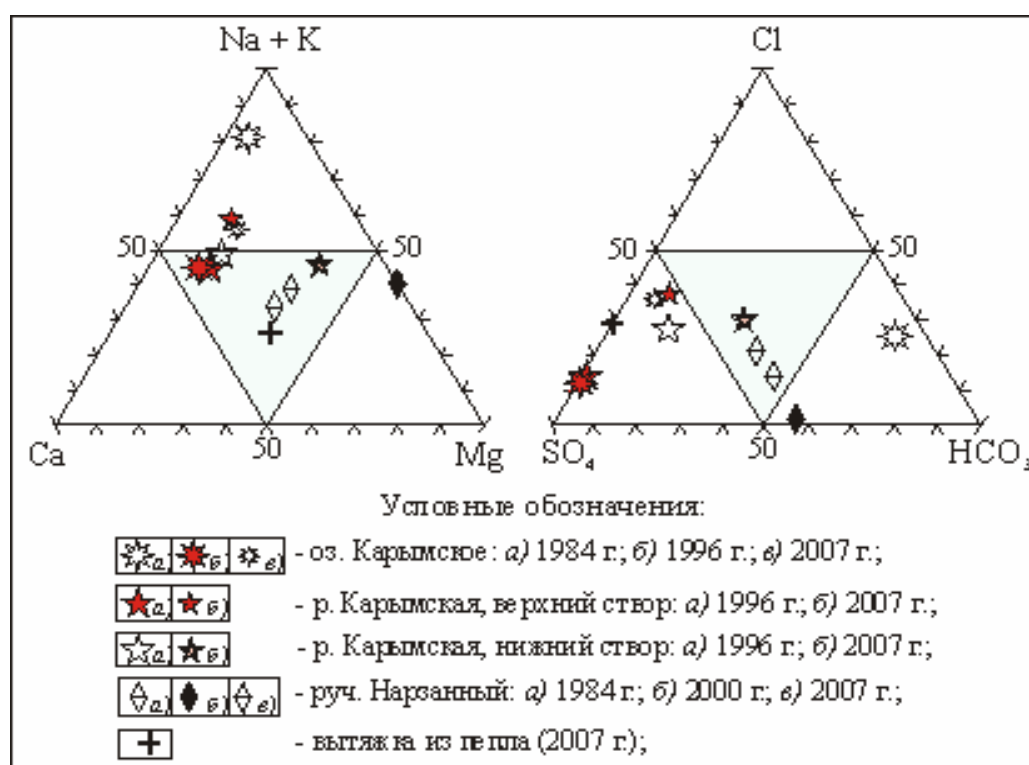
В подводном кратере Токарева, в прибрежной зоне северного берега Карымского озера и в его окрестностях, возникли многочисленные новые гидротермальные источники и изменился режим старых, функционировавших до извержений.

Существенные изменения произошли в Карымских гидротермальных источниках, расположенных в южном секторе кальдеры Карымской. Преобразования способствовала мощная сеймотектоническая активизация, сопутствующая извержениям и в свою очередь активизировавшая зону разлома, проходящую вдоль реки Карымской в её верхнем течении и захватывающую Карымские гидротермальные источники в южном секторе Карымской кальдеры.

В кальдере Академии Наук извержение кратера Токарева продолжалось один день, извержение вулкана Карымский продолжается с небольшими перерывами до настоящего времени. Все это внесло определенный вклад в изменения состояния (режима и состава) озера, термальных источников кальдер и свободных газов в них.

После протекания реки через южный сектор кальдеры Карымской, где в нее впадают многочисленные притоки, вытекающие из гидротермальных источников, расположенных в ее левом борту, расход ее (в нижнем створе) обычно увеличивается до 2.5-3.0 м<sup>3</sup>/сек, а температура, минерализация и рН соответственно немного возрастают.

Среди термальных источников кальдеры Карымской выделяется ручей Нарзанный (рис. 1), характеризующийся сравнительно стабильным расходом, составом и температурой воды. По всей вероятности, питание этого ручья и других гидротерм кальдеры в значительной степени обусловлены грунтовыми водами и газами, фильтрующимися через вулканогенные породы и частично выщелачивающимися на своем пути поверхностно активные вещества, в том числе, хлориды, сульфаты, карбонаты. На рисунке 2 приводятся данные по солевому составу воды в озере и реке Карымской, ручья Нарзанный (в его истоках разгружаются источники Нарзанные) прошлых лет в сравнении с 2007 г. Нанесены также данные по водным вытяжкам из пепла вулкана Карымского (2007 г.).



**Рис. 2.** Тройные диаграммы солевого состава воды из реки Карымская, источника Нарзанный и водной вытяжки из пепла вулкана Карымский

Из приведенных данных следует, что к 2007 г. озерная вода, судя по водородному показателю и минеральной нагрузке, восстановилась лишь частично до состояния, предшествующего извержению в кратере Токарева в 1996 г.

По данным измерений 2007 г. расход воды в истоке р. Карымской (верхнем створе) составлял ~ 2.0 м<sup>3</sup>/сек, объединенной гидротермальной системы южного сектора Карымской кальдеры – 2.5 м<sup>3</sup>/сек, ручья Нарзанный ~ 0.2 м<sup>3</sup>/сек. В таком случае гидротермальная система кальдер Карымской и незначительно Академии Наук, вносит в реку Карымскую более 2 м<sup>3</sup>/сек термальной воды с температурой ~ 15-20<sup>0</sup>С и минерализацией около 1 г/л.

Незначительное подкисление воды, наблюдающееся в нижнем створе реки, связано с поступлением в нее сульфатов и хлоридов, выщелачиваемых из пепловых осадков со склонов и подножий Карымского вулкана.

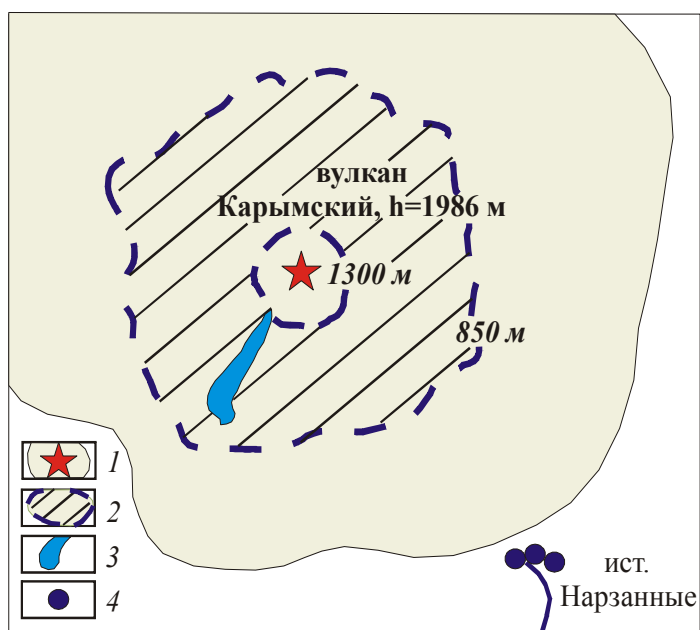
Общий состав вод южного сектора кальдеры Карымской и ручья Нарзанного стремится к составу воды из свежей пепловой вытяжки. В связи с увеличением доли сульфат-иона изменился обычный вкус питьевой воды ручья Нарзанного. Изменение в составе воды и, соответственно, вкуса нарзана стало заметно проявляться начиная с 2001 г.

Представляется, что отложения пироклаستيку в окрестностях вулкана Карымского и, особенно, в его кальдере, связано с составом вод термальных источников, питающих многочисленные водотоки южного сектора Карымской кальдеры. Причем, кроме кратковременных пеплопадов, вынос которых атмосферными осадками происходит довольно быстро, в пределах Карымской кальдеры формируются слоистые толщи, в которых мощность пирокластических отложений может быть сравнительно большой.

Одна из таких толщ показана на рисунке 3. Видимая толща осадков формируется у восточного края пачки лавовых потоков 1996-1998 гг., в интервале высотных отметок 850 – 1300 м, где образовалась как бы ловушка-накопитель для снежных масс – «зарядов» циклонов, приходящих с востока (рис. 4).



**Рис. 3.** Толща пирокластики общей мощностью 35 м на юго-западном склоне вулкана Карымский. На рисунке видны прослои снега мощностью до 2.0 м каждый.



**Рис. 4.** Схема вулкана Карымский: 1 – постройка вулкана и его вершина; 2 – зона формирования многолетних снежников и ее границы; 3 – слоистая толща пирокластики и снега; 4 – ист. Нарзанные.

Перекрывающий пирокластические отложения снег затем последовательно превращается в фирн и лед. С течением времени образуется слоистая толща, в которой по ситуации на июль 2006 г. было видно 7 прослоев пирокластики мощностью не менее 2 м каждый. Очевидно, это не единственное место в кальдере Карымского вулкана, где происходит одновременное захоронение слоев пирокластики и снега.

Захороненные снежники, превращаясь со временем в ледники, могут сохраняться достаточно долго, хотя граница многолетних снегов (или фирновая граница) в этом районе проходит значительно выше [5].

Можно очень приблизительно оценить количество снега (льда) скапливающегося в кальдере вулкана Карымского в течение года. Воспользуемся следующими исходными данными, представляющимися нам реальными. Площадь постройки вулкана, располагающаяся выше 850 м, где возможно накопление пирокластики порядка 10 см в год при  $R = 1.6$  км, будет порядка  $8000000 \text{ м}^2$ . От этой площади доля, где может

накапливаться и захороняться снег, составляет около 5% (в перспективную для накопления снега площадь не входит конус вулкана Карымский с крутыми склонами). Годовое количество выпавших осадков (снега) в этом районе ~ 1000 мм [7]. Из выпавшего и частично захороненного снега до наступления следующей зимы может сохраниться лишь ~ 5%, отсюда в год будет ~ 4000 м<sup>3</sup>. За 500 лет последнего активного периода, по [2], извержения вулкана занимают половину времени. В таком случае, за последние 500 (250) лет в кальдере Карымской могло накопиться ~ 1 млн. м<sup>3</sup> льда (в пересчете на воду).

Захороненные ледники в дальнейшем являются главными источниками, питающими расположенные ниже выходы термальных и холодных вод, а минерализация этих вод в значительной мере определяется растворимыми веществами, выщелачиваемыми из захороненной пироклаستيку. В общем случае последовательность и интенсивность выщелачивания соответствует ряду: сульфаты > хлориды > карбонаты [9].

В состоянии термальных источников и составе выделяющихся из них свободных газов в течение 2007 г. отмечены некоторые изменения. Весной наблюдалась заметная активизация Медвежьих источников по сравнению с 2005-2006 гг. Температура воды в них достигала 53<sup>0</sup>С, расход вод - 1.5 л/сек (обычно в предыдущие годы температура в них была не более 30<sup>0</sup>С, а расход воды - не более 0.3 л/сек). В сентябре эта группа источников не проявляла никакой активности. В 2007 г. не наблюдалось активности бывших термальных источников во всех воронках полуострова Новогоднего.

В сравнении с данными прошлых лет в спонтанном газе источников Академии Наук повысилось содержание кислорода до 25 об. %, что заметно больше атмосферного. Такое повышение может свидетельствовать о процессе гидролиза воды радиогенными эманациями.

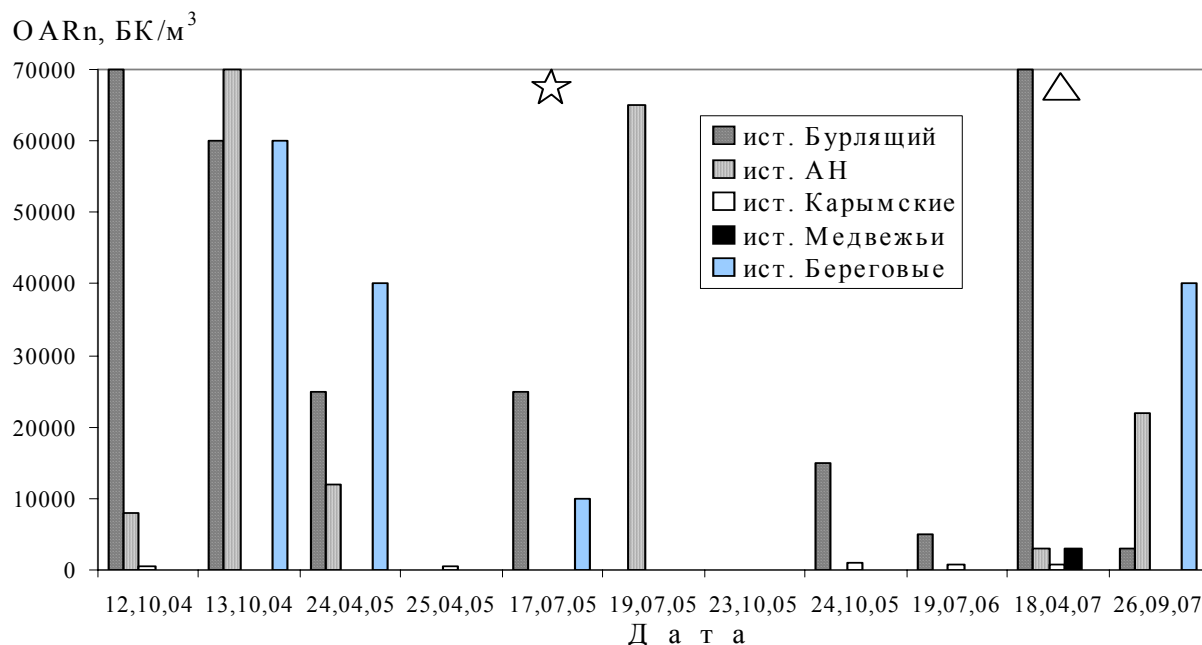
Отмечается стабильно высокое содержание углеводородов (УГВ) - C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> до 5·10<sup>-3</sup> (при относительно высоком дебите газа, порядка 10 л/сек) в свободных газах Береговых источников. Термальные источники Бурлящие (в русле р. Карымской) рассредоточены на множество мелких выходов и сохраняют сравнительно высокий порядка нескольких л/сек дебит газов, состав которых весной был обычным для источников этой группы, а осенью заметно изменился – снизилось содержание УГВ. Выходы свободного газа в русле ручья Горячего имеют рассредоточенный характер выходов и более слабую дегазацию, по сравнению с выходом свободных газов 5 и более лет назад. Содержание УГВ в газах ручья Горячего по сравнению с 2003 г. и раньше, снизилось ~ в 5 раз. Отмечается небольшое повышение УГВ в свободных газах Карымских источников.

По радону (OARn) в свободных газах проанализированных групп источников в 2007 г. отмечались следующие особенности (рис. 5). В свободных газах Академии Наук весной (в апреле) дважды 21.04 и 23.04 было необычно низкое ( $n \cdot 10^3$  Бк/м<sup>3</sup>) содержание радона, сменившееся в сентябре этого года повышением до  $n \cdot 10^4$  Бк/м<sup>3</sup> (Таблица).

В газах Береговых источников весной повышение радона (OARn) вдвое по сравнению со средним за 10 лет, осенью обычная концентрация его ~  $n \cdot 10^4$  Бк/м<sup>3</sup>. На Медвежьих источниках весной при общей активизации фиксировалось небольшое повышение радона, а осенью – спад до самых минимальных его значений. Не было обнаружено ни одного выхода свободных газов и радона на всей территории Новогоднего полуострова, включая зону мелководья на северной кромке кратера Токарева. На всех выходах газов Карымских источников при сохранении обычной интенсивности выделение свободных газов радона в осенний период снизилась на порядок.

## Обсуждение результатов

Представленные в настоящей статье гидрогеохимические данные, отобранные из различных источников кальдер Карымской и Академии Наук свидетельствуют о продолжении некоторых сравнительно интенсивных преобразований в химическом составе воды и газов Нарзанных термальных источников. Причиной чему, по всей видимости, является продолжающееся по настоящее время извержение Карымского вулкана и недавно произошедшее подводное извержение в кальдере Академии Наук.



**Рис. 5.** Вариации объемной активности радона ( $OAR_n$ , Бк/м<sup>3</sup>) в свободных газах термальных источников кальдер Академии Наук и Карымской. Примечание: звездочкой условно обозначены максимальные значения радона в свободных газах источников Академии Наук (200000 Бк/м<sup>3</sup>, отобраны 17.07.2005 г.), треугольником – источников Береговых (100000 Бк/м<sup>3</sup>, отобраны 18.04.2005 г.).

**Таблица.** Содержание радона ( $OAR_n$ , Бк/м<sup>3</sup>) в свободных газах термальных источников кальдер Академии Наук и Карымской.

Дата отбора проб	кальдера Академии Наук				кальдера Карымская
	ист. Бурлящий	ист. Академии Наук	ист. Медвежьи	ист. Береговые	ист. Карымские
12.10.2004	70000	8000	-	-	500
13.10.2004	60000	70000	-	60000	-
24.04.2005	25000	12000	70	40000	70
25.04.2005	-	-	-	-	500
17.07.2005	25000	200000	70	10000	-
19.07.2005	-	65000	-	-	-
23.10.2005	-	-	-	-	70
24.10.2005	15000	-	-	-	900
19.07.2006	5000	-	-	-	700
18.04.2007	70000	3000	3000	100000	700
26.09.2007	3000	22000	70	40000	70

Примечание. «-» отсутствие данных.

Выщелачивание различных, в первую очередь легко растворимых компонентов из вулканогенных пород окрестностей вулкана, атмосферными осадками и грунтовыми водами влияет на химический состав вод и свободных газов близрасположенных гидротермальных источников. Долговременная эксплозивная активность вулкана в сочетании со значительным количеством твердых атмосферных осадков (снега) обуславливает одновременное захоронение рыхлых вулканогенных отложений и снега. В результате, в ближайших окрестностях вулкана и в кальдере Карымской на небольшой высоте, менее 1300 м, образуются захороненные ледники, способные, видимо, сохраняться достаточно долго, возможно в течение сотен лет. Подобно тому, как сохранился у северного подножья вулкана Малый Семячик на отметках ~ 950-1100 м ледник, обозначенный на топографической карте масштаба 1:100000 (1949 г.).

Состав гидротерм кальдер Академии Наук и Карымской рассматривался предыдущими исследователями [3, 6]. Наиболее полное подразделение по составу термальных вод и спонтанных газов сделано авторами работы [3], выделяющими три группы гидротерм по составу вод и газов с указанием близких аналогов гидротерм других районов Камчатки. Представляется, что гидротермы Береговые по [6] существенно отличаются по составу свободных газов от источников Академии Наук и заслуживают большего внимания.

Следует сделать некоторые уточнения по поводу утверждений авторов [3] относительно того, что было «не менее двух прорывов перемычки из взрывных отложений», перекрывших исток реки Карымской во время подводного извержения 1996 г, а также относительно «замыва ключевой площадки отложениями селевых потоков мощностью до 1.5 м» и, как следствие, существенного изменения режима гидротерм южного сектора Карымской кальдеры. Присутствовавший во время прорыва перемычки один из авторов настоящей работы видел, что прорыв 15.05.1996 г. в 15 часов местного времени был всего один, а уровень озера понизился не более, чем на 4 м. Подъем уровня воды в месте расположения «ключевой площадки» по [3], на которой расположены Карымские гидротермы, после прорыва перемычки достигал 5 м. После схода лахара в течение недели в районе «ключевой площадки» оставалась вязкая взвесь (грязь), мощность которой в некоторых местах достигала 1.2 м. По прошествии двух недель после схода майского лахара 1996 г. суммарная мощность отложений январского и майского лахаров в южном секторе Карымской кальдеры нигде не превышала 0.5 м.

Полагается, что главный фактор, активизировавший значительную часть Карымских гидротерм и, главное, закрывший самый мощный источник у восточного берега Теплого озера, был сейсмотектонический. Так что вклад экзогенного фактора, по сравнению с эндогенным, был не столь значителен, как отмечено в [3].

В работе [6] проведено сопоставление возраста групп гидротерм и соответственно источников спонтанных газов. Самыми старыми являются источники Академии Наук. По [6] их возраст - не менее 35 тысяч лет, Береговые источники тоже достаточно старые. Источники Карымские могут быть старше и Карымского вулкана (~ 5 тысяч лет) и Карымской кальдеры (~ 7 тысяч лет) согласно [2]. Самые молодые - возникшие в 1996 г. источники полуострова Новогодного, из которых по ситуации на 2007 г. функционировали гидротермы ручья Горячего (Пийповские источники) и источник Бурлящий. Вряд ли состав вод и спонтанных газов гидротерм определяется только их возрастом, хотя щелочные углекисло-азотные термы и их аналоги имеют возраст в десятки тысяч лет [3].

Существенно различный состав газов из разных групп источников, очевидно, связан с генезисом этих газов. Среди компонентов-индикаторов можно отметить гелий и радон. Общая специализация газов с повышенными содержаниями радона (OARn) существенно различна и, видимо, связана с эманулирующим коллектором, расположенным на глубине в несколько сотен метров [1]. Высокие (до 25%)

содержания кислорода в спонтанных газах источников Академии Наук только смешением с атмосферным воздухом необъяснимы, поскольку в атмосферном воздухе доля кислорода составляет всего 21%. Возможно, что аномально высокое содержание кислорода в спонтанных газах источников Академии Наук является следствием радиолиза воды под действием эманаций радиогенных газов согласно [8].

### **Выводы**

1. Расход реки Карымской в истоке составляет 1.6-2.0 м<sup>3</sup>/сек. Минерализация воды в Карымском озере близка к таковой бывшей до подводного извержения 1996 г.
2. Гидротермы Карымские вносят в реку Карымскую ~ 3 м<sup>3</sup>/сек термальных вод, повышающих общую минерализацию и температуру этих вод.
3. В пределах Карымской кальдеры захоронение снега и пирокластики способствует образованию многолетних ледников на сравнительно небольших высотах
4. Атмосферные осадки и грунтовые воды активно выщелачивают ряд компонентов из вулканогенных отложений и с разной интенсивностью влияют на состав вод и спонтанных газов гидротерм.

Авторы выражают благодарность Г.А. Карпову, В.Л. Леонову и О.Ф. Кардановой за оперативное обсуждение и замечания во время написания работы.

Работа выполнена при поддержке проекта № 06-1-П16-062 «Деятельность вулканов в современную эпоху: комплексный мониторинг, механизм извержений и геохимия изверженных продуктов, взаимосвязь с геодинамикой региона и климатическими изменениями, воздействие на природную среду, оценка вулcano- и цунамиопасности», руководитель академик РАН Е.И. Гордеев.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Андреев В.И., Карпов Г.А.* Радон в спонтанных газах гидротермально-магматической системы кальдеры Академии Наук // *Материалы ежегодной конференции, посвященной дню вулканолога 30 марта – 1 апреля 2005 г.* Петропавловск - Камчатский. 2005. С. 47-53.
2. *Брайцева О.А., Мелекесцев И.В.* Вулкан Карымский: история формирования, динамика активности и долгосрочный прогноз // *Вулканология и сейсмология.* 1989. №2. С. 14-32.
3. *Вакин Е.А., Пилипенко Г.Ф.* Гидротермы Карымского озера после подводного извержения 1996 г. // *Вулканология и сейсмология.* 1998. № 2. С. 3-28.
4. *Гордеев Е.И., Дроздин Д.В., Касахора М. и др.* Сейсмические явления, связанные с извержениями вулканов Карымский и в кальдере Академии Наук // *Вулканология и сейсмология.* 1998. № 2. С. 28-48.
5. *Кондратюк В.И.* Климат Камчатки. Гидрометеиздат. М., 1974. 202 с.
6. *Кузьмин Д.Ю., Андреев В.И., Карпов Г.А.* Спонтанные газы термальных источников кальдеры Академии Наук // *Материалы ежегодной конференции, посвященной дню вулканолога 28 марта – 31 марта 2007 г.* Петропавловск-Камчатский. 2007. С. 227-236.
7. *Муравьев Я.Д.* Снежный покров горных районов Камчатки. // *Вопросы географии Камчатки.* 1985. Вып. 9. С. 30-41.
8. *Соколов В.А.* Геохимия природных газов. 1971. М., Недра. 333 с.
9. *Справочник по свойствам, методам анализа и очистки воды.* Ч. 2. 1980. Киев: Наукова Думка. 1205 с.

## **ENVIRONMENTAL IMPACT OF THE KARYMSKY AND AKADEMII NAUK CALDERA (TOKAREV CRATER) ERUPTIONS**

**V.I. Andreev, A.G. Nikolaeva**

*Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006;  
e-mail: via@kscnet.ru*

Presented are the results of field observations, as well as analyses of thermal waters and free gases of hydrothermal-magmatic systems in the Karymskaya and Akademii Nauk calderas. Reported is periodical burial of snow by loose volcanogenic sediments, followed by the formation of long-lived glaciers at comparatively small heights in the Karymskaya caldera. Different compositions of thermal waters and free gases in the Karymskaya and Akademii Nauk calderas are underlined.