

Эволюция химического состава гидротерм кальдеры Академии Наук (Камчатка) за период 1996-2015 гг.

А.Г. Николаева, Г.А. Карпов

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

Целью исследований являлось изучение эволюции химического состава гидротерм современной кальдерной гидротермальной системы, активизировавшейся в связи с подводным извержением в пресноводном оз. Карымском. По результатам гидрохимического мониторинга прослежен процесс изменения физико-химических характеристик гидротерм в береговом обрамлении Карымского озера за период 1996-2015 гг. Фреато-магматическое извержение в Карымском озере (1996 г.) вызвало изменение химического состава древних гидротерм и привело к образованию в прибрежной зоне новых горячих источников и гейзера. Химический состав древних гидротерм со временем испытал восстановление, а в водах новых источников наблюдалось увеличение концентрации Cl и Na. Сделан вывод о питании растворов из высокотемпературного геотермального резервуара в недрах кальдеры.

До извержений 1996 г. в Карымском вулканическом центре (КВЦ) длительное время действовала высокотемпературная гидротермальная система [4]. На поверхности она проявлялась разгрузками термальных вод в двух соседних кальдерах: Академии Наук (азотно-углекислые Cl–Na горячие термы Академии Наук с $T=98^{\circ}\text{C}$) и в собственно Карымской (углекислые источники нарзанного типа с $T=40-45^{\circ}\text{C}$).

Первые сведения о горячих ключах на южном берегу Карымского озера приводятся в работе [11]. Они имели щелочную реакцию, Cl – Na состав воды и N_2 – CO_2 состав газов. Эти источники изучались В.Д. Троицким [11], Б.В. Ивановым [5], сотрудниками Камчатского территориального геологического управления, обнаружившими второстепенные термопроявления на ЮЮВ берегу озера [10]. Впервые оценка общего притока термальных вод в озеро (> 50 л/сек), расчет их базовой (глубинной) температуры ($250-280^{\circ}\text{C}$) и энергетической мощности (200 МВт) были сделаны в работе [8].

Результаты изучения гидрохимии термальных источников после катастрофического подводного извержения 1996 г. изложены в работах [2, 3, 6, 9, 12, 13].

Результаты исследований и их обсуждение

Гидротермы в кальдере Академии Наук, после извержения в Карымском озере (1996 г.) функционируют практически по всей его окружности (рис. 1).

В период 1996 - 2015 гг. нами был проведен гидрогеохимический мониторинг крупных термопроявлений, фиксирующихся по берегам кальдерного озера Карымское, с измерениями в них pH, Eh, $T^{\circ}\text{C}$, электропроводности (в мкСм) и дебита воды. Водные пробы отбирались в полиэтиленовые бутылки емкостью 0.5 л и анализировались в АЦ ИВиС ДВО РАН по стандартным методикам.

Физико-химические параметры гидротерм. Максимально высокие температуры воды (до $97-98^{\circ}\text{C}$) имел основной и вместе с тем древний очаг разгрузки гидротерм источников Академии Наук: щелочные Cl–Na воды гейзеров, пульсирующих источников и частично береговые термы на южном берегу озера. В северной части озера такие температуры в новообразованных источниках (Пляжных, Медвежьих, Пийповские на ручье Горячем) наблюдались только в первое время после извержения в озере, а затем снижались.

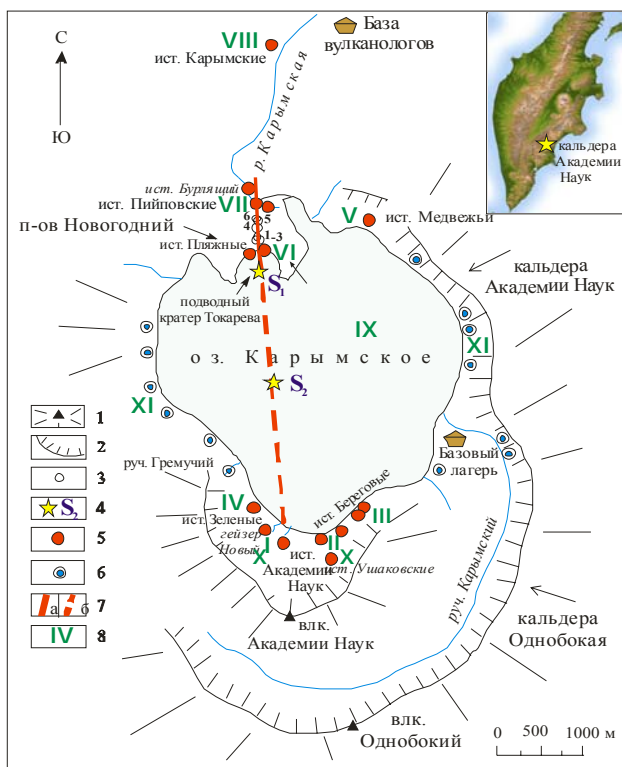


Рис. 1. Схема расположения основных групп термальных источников в кальдере Академии Наук. 1 – вулканические постройки; 2 – кальдеры; 3 – взрывно-просадочные воронки на п-ове Новогодний (1-6); 4 – режимные гидрологические станции на оз. Карымском; 5 – разгрузки гидротерм; 6 – разгрузки грунтовых вод; 7 – направление трещины на суше 1996 г. (а), предполагаемая трещина на дне озера (б); 8 – номера гидрохимических групп вод кальдеры [2] с добавлением наших данных. На врезке – карта Камчатки с районом работ.

Видимая площадная гидрохимическая зональность гидротерм в кальдере Академии Наук отсутствовала. Тем не менее, по соотношению основных анионов (гидрокарбоната, хлорида и сульфата) источники можно было разделить на три группы: щелочные

гидротермы (ист. Академии Наук, Воронка-6, частично Пийповские и Медвежий); кислые и слабокислые гидротермы (вода озера, грязевые котлы); пресные холодные ручьи и частично гидротермы в ЮЮВ береговой зоне озера.

Эволюция химического состава гидротерм. Выделенная ранее [2, 3] типизация вод разнообразных источников, разгружающихся по берегам Карымского озера, сохранила в основном свою выдержанность во времени. Но некоторые изменения отмечены в отдельных группах вод. В первую очередь следует отметить резкие изменения IV типа вод, к которому относится вода Карымского озера после извержения 1996 г. (*группа IX*). Это самостоятельный, меняющийся во времени тип воды в озере. Появился он под влиянием вулканических эманаций в ходе подводного извержения в 1996 г. и имел кислый ($\text{pH}=3.2$), хлоридно-сульфатный со сложным катионным составом тип воды ($\text{Cl-SO}_4 / \text{Fe-Mg-Na-Ca}$), с минерализацией до 1 г/л [2, 3, 12, 13]. Со временем, в связи с естественным водообменом озеро-река, солевой состав воды Карымского озера претерпел существенные изменения. От уровня высокой $\text{Cl-SO}_4 / \text{Na-Ca}$ минерализации с присутствием Mg и Fe, приобретенной в связи с катаклизмом в озере в 1996 г., к 2015 году наметился тренд уменьшения концентраций ионов SO_4 , Ca и Mg. Отмечалось появление и рост со временем концентрации HCO_3^- иона [7]. К этому же четвертому типу воды относятся и водно-грязевые котлы Анна, Адский и др., функционирующие в районе ист. источников Академии Наук, относящиеся к *группе X*. Они имели, кислую реакцию ($\text{pH}=3-4$) и $\text{SO}_4 / \text{Ca-Na-Fe-Al}$ состав воды. Со временем химический состав воды в них постепенно менялся, преимущественно за счет поступления Cl / Na компоненты.

В дополнение к описанным ранее [2, 3] четырем типам вод нами выделен еще тип V (*группа XI*). Воды этого типа близнеутральные ($\text{pH}=6.9-7.2$), слабоминерализованные (130 мг/л), $\text{Cl-HCO}_3 / \text{Na-Ca}$ (Ca-Na) состава.

На диаграммах солевого состава вод кальдеры Академии Наук, составленной нами по данным наблюдений за 1996-2015 гг. (с учетом неопубликованных наших данных за 1984 г.) показаны вариации состава типов вод по группам (рис. 2).

Установлено, что в связи с извержением в озере значимых изменений в химическом составе вод типа I не произошло, но некоторые изменения содержаний Na,

Cl и SO₄ наблюдались для вод периферийных групп (II-IV). На сейсмоструктурные и вулканические события 1996 г. источники этих типов вод отреагировали резким увеличением дебита. Возникли новые термопроявления, особенно в Западной группе этих источников (гейзер Новый, водно-грязевые котлы, парящие площадки).

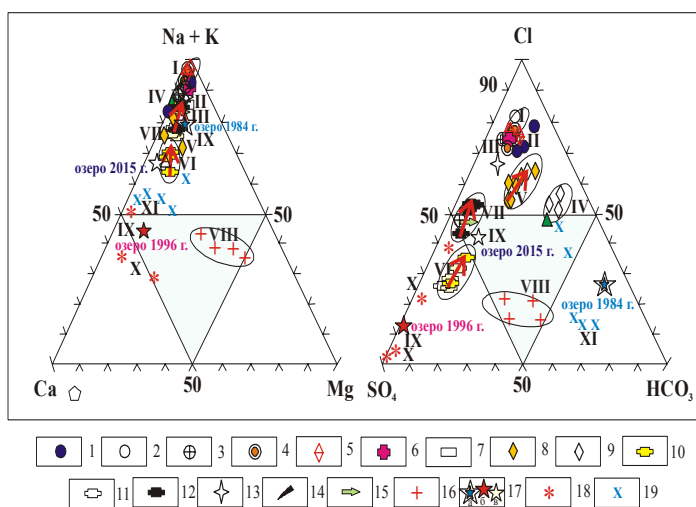


Рис. 2. Диаграммы, отражающие эволюцию солевого состава воды гидротерм кальдеры Академии Наук (1984-2015 гг.). 1-4 – ист. Академии Наук (гидрохимическая группа I); 5,6 – ист. Береговые-2 (II); 7 – ист. Сердитый (Береговой-1) (III); 8 – ист. Зеленые (IV); 9 – ист. Медвежья (V); 10,11 – ист. Пляжные (VI); 12-15 – группа ист. Пийповские; 16 – ист. Карымские (VIII); 17 – вода оз. Карымское (а-1984 г., б-1996 г., в-2015 г.) (IX); 18 – водно-грязевые котлы (X); 19 – холодные ручьи (XI). Красной стрелкой обозначен тренд изменения химического компонента.

Воды новообразованных источников (тип 2, группы V-VII) различались между собой в основном по степени смешения с грунтовыми водами, а не по гидрохимическому типу. В первое время на их состав оказывали влияние кислые флюиды, но затем в них стала увеличиваться концентрация хлоридов натрия.

Холодные ручьи в кальдере (группа XI), в основном, сохранили свой прежний химический состав. В некоторых из ручьев, впадающих в озеро с северной части кальдеры отмечалось присутствие кислотной компоненты (SO₄, Cl), что связывалось нами с растворением в воде пепловых осадков от действующего влк. Карымского. После снижения его активности химический состав воды в ручьях стал приобретать прежний Cl-HCO₃ / Na состав.

В целом, все очаги разгрузки гидротерм в кальдере Академии Наук связаны с общей вулканотектонической структурой – субмеридиональным грабеном (см. рис. 1), пересекающим в свою очередь северо-восточную зону глубинного заложения. Через систему трещин этого узла пересечений, играющих роль основных каналов, и происходит разгрузка гидротерм.

Заключение

1. Наши исследования позволили проследить эволюцию гидрохимических характеристик гидротерм кальдеры Академии Наук в течение длительного времени, включающего период покоя, предваряющего подводное извержение, и значительный интервал времени после его завершения.

2. Важнейшим гидрогеохимическим последствием катаклизма 1996 г. в кальдере Академии Наук является возникновение мощного очага разгрузки минерализованных высокотемпературных гидротерм SO₄-Cl / Na состава на северном берегу озера. Это источники Пляжные, Провал, Пийповские.

3. Среди ранее выделенных в кальдере гидрохимических групп гидротерм, группы V-VII (новообразованные источники) различались между собой не по гидрохимическим типам, а только по степени смешения с грунтовыми водами. Первое время на состав этих терм оказывали влияние кислые флюиды (содержащие H₂S), но затем в них стала увеличиваться концентрация хлоридов натрия, что указывало на поступление растворов из высокотемпературного геотермального резервуара. Именно в районе более ранних подводных извержений, а не в эксплозивной воронке 1996 г.

(подводном кратере Токарева), вскрылись основные каналы разгрузки глубинных Cl-Na вод из высокотемпературной гидротермальной системы, функционирующей в недрах кальдерной постройки.

4. Последствия подводного извержения в кальдере Академии Наук в 1996 г. являются реальным свидетельством питания гидротерм из глубинного резервуара и парагенетической связи гидротермальной деятельности с кислыми дифференциатами базальтовой магмы [1].

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (97-05-96626-п, 05-05-64789-а, 11-05-00572-а, 17-05-00257).

Список литературы

1. *Аверьев В.В.* Гидротермальный процесс в вулканических областях и его связь с магматической деятельностью / Современный вулканизм. Тр. Второго вулканол. совещ. 3-17 сентября 1964 г. М.: Наука, 1966. С. 118-128.
2. *Вакин Е.А., Пилипенко Г.Ф.* Гидротермы Карымского озера после подводного извержения 1996 г. // Вулканология и сейсмология. 1998. № 4. С. 3-27.
3. *Вакин Е.А., Пилипенко Г.Ф.* Катастрофическая деформация и последующая эволюция высокотемпературной геотермальной системы, в как результате фреато-магматического извержения в Карымском кальдерном озере // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. ИВГиГ ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский. 2001. 428 с.
4. Вулканический центр: строение, динамика, вещество (Карымская структура) / Отв. ред. Ю.П. Масуренков. М.: Наука, 1980. 300 с.
5. *Иванов Б.В.* Современная гидротермальная деятельность в районе вулканов Карымской группы // Гидротермальные минералообразующие растворы областей активного вулканизма. Новосибирск: Наука, 1974. С. 32-37.
6. *Карпов Г.А., Двигало В.Н.* Термопроявления кальдеры Академии Наук: результаты топосъемки, гидрохимия термальных источников после катастрофического подводного извержения 1996 г. // Материалы ежегодной конференции, посвященной Дню вулканолога 30-31 марта 2009 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2009. С. 101-114.
7. *Николаева А.Г., Карпов Г.А., Кузьмин Д.Ю.* Оценка изменения гидрогеохимического состояния оз. Карымского и термальных источников в кальдере Академии Наук за период 2006-2012 гг. // Сборник докладов материалов ежегодной конференции, посвященной Дню вулканолога 28-29 марта 2013 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2013. С. 336-343.
8. *Пилипенко Г.Ф.* Гидротермы Карымского вулканического центра на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 1989. № 6. С. 85-101.
9. *Николаева А.Г., Карпов Г.А., Лупкина Е.Г., Ушаков С.В.* Эволюция солевого состава воды термальных источников и Карымского озера после извержения 1996 г. // Сборник докладов материалов ежегодной конференции, посвященной дню вулканолога 30 марта – 1 апреля 2005 г., Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2005. С. 37-47.
10. *Киселев С.Ю.* Отчет Ольховой ГПП о результатах гидрогеологической съемки масштаба 1:200000, проведенной на территории листов N-57-XXII, XXVIII, XXIX в 1989-1991 гг. Фонды ФГУ “ТФИ по Камчатскому краю”. Инв. № 5677/1. 1993 г.
11. *Троицкий В.Д.* Краткий геоморфологический очерк района Карымского вулкана // Тр. Камчатской вулканол. станции. 1947. Вып. 3. С. 49-88.
12. *Фазлуллин С.М., Ушаков С.В., Шувалов Р.А. и др.* Подводное извержение в кальдере Академии Наук (Камчатка) и его последствия: гидрологические, гидрохимические и гидробиологические исследования // Вулканология и сейсмология. 2000. № 4. С. 19-32.
13. *Karpov G.A., Muraviev Y.D., Shuvalov R.A. et al.* A subaqueous eruption from the caldera of Akademii Nauk volcano on January 2-3 1996 // Newsletter of IAVCEI Commission on Volcanic Lakes. 1996. P. 14-17.