

## CHAPTER VII. THE MECHANISM OF FUNCTIONING OF GEYSERS AND CATASTROPHIC PROCESSES IN HYDROTHERMAL SYSTEMS

### РАЗДЕЛ VII. МЕХАНИЗМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГЕЙЗЕРОВ И КАТАСТРОФИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

УДК 551.21 : 551.233

#### **Geysers of the Akademia nauk caldera (Kamchatka): location, morphology, dynamics of eruptions, evolution of water composition**

Gennadiy Karpov

*Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia  
karpovga@kscnet.ru*

The material of studies of geysers in the caldera of the Academy of Sciences (Kamchatka, Russia) is considered, and it is concluded that their occurrence and activity is controlled by the activity of the submeridional strike fault zone and depends on the impulse inflow of high-enthalpy CO<sub>2</sub> into a shallow chamber in the geyser channel.

**Keywords:** geyser, caldera, eruption regime, hydrothermal chemistry, gases

#### **Гейзеры кальдеры Академии Наук (Камчатка): местоположение, морфология выходов, механизм и динамика извержений, эволюция состава терм**

Г.А. Карпов

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия*

Рассматривается материал исследований гейзеров в кальдере Академии Наук (Камчатка). Сделан вывод о том, что их возникновение и деятельность контролируется активностью разломной зоны субмеридианального простирания и зависит от импульсного притока высокоэнтальпийного CO<sub>2</sub> в расположенную неглубоко камеру в канале гейзера.

**Ключевые слова:** гейзер, кальдера, режим извержений, химизм гидротерм, газы

Кальдера вулкана Академии Наук находится в южном секторе долгоживущего Карымского вулканического центра. Она образовалась порядка 28-48 тыс. лет назад (Базанова, 1980) и в настоящее время заполнена пресноводным Карымским озером. Гейзеры в кальдере были открыты в 1938 г (Троицкий, 1947), многократно посещались и коротко описывались вулканологами (Иванов, 1974; Вакин, Пилипенко, 1998). Морфологически выделяются две группы гейзерного режима истечения гидротерм: Восточная и Западная. Обе они приурочены к южному берегу Карымского озера (рис 1, Рис. 2, слева). В Восточной группе сформировались две крупные ванны, заполненные горячей водой, сливающейся в них от многочисленных мелких пульсирующих источников.

По сохранившимся фрагментам отложений гейзерита видно, что ранее здесь было несколько выходов гейзеров. В настоящее время в районе ванны действуют пульсирующие источники, химизм вод которых близок к гейзерным термам этой структуры. Западнее этой ванны, под крутым бортом, располагается крупный грифон гейзера «Старого» (Рис. 2, справа).

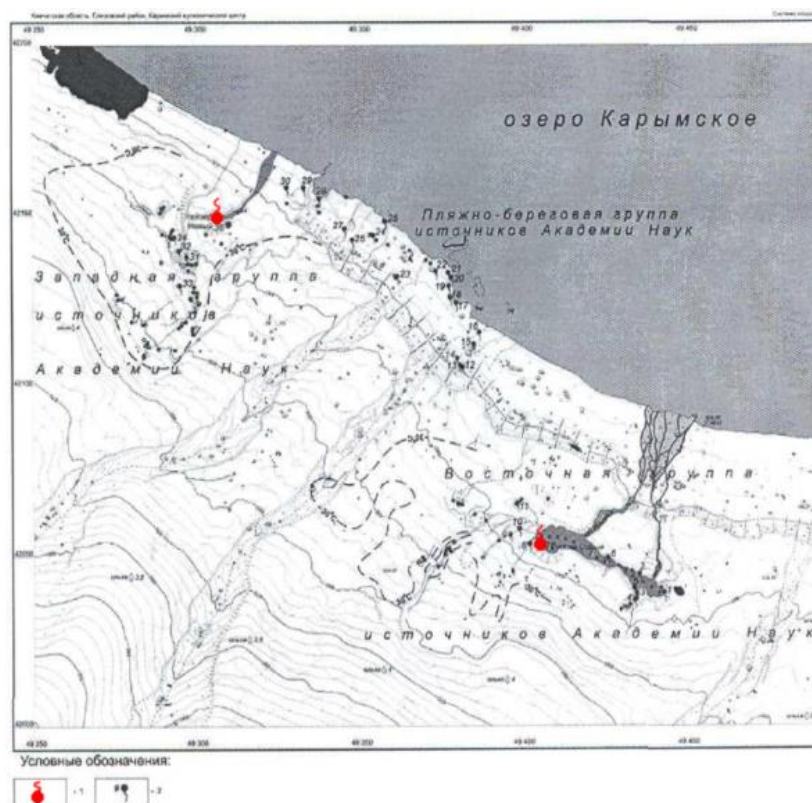


Рисунок 1 – Карта южного берега оз. Карымского с двумя группами гидротерм и двумя гейзерами. Условными значками показаны гейзеры (красные точки) и термальные источники (черные точки)



Рисунок 2 – Две группы гидротерм Академии Наук (слева) и извержение гейзера Старый (справа)

### Механизм и динамика извержений гейзеров кальдеры

В результате фреато-магматического извержения в озере в 1996 г в Ю-3 секторе борта кальдеры возник гейзер, получивший название «Новый». Мы наблюдали одновременное извержение вулкана Карымский и этого гейзера (Рис. 3, слева). Он расположен в котловине диаметром 2,5 м (Рис. 3, справа).

Характерно, что после фреато-магматического извержения в озере общая минерализация и доля Cl-Na компоненты в термах гейзера «Старого» существенно возросла, но уже через 6 лет стала снижаться. Содержание хлоридно-натриевой компоненты гейзера «Нового» до 2015 года оставалось более-менее стабильным. В воде этого гейзера наблюдается повышенное содержание В, V, Mo, Zn, Cu, As, Li, Ba.



Рисунок 3 – Одновременное извержение вулкана Карымский и гейзера «Новый» (слева).  
Справа – извержение гейзера «Нового»

Режим работы подводного гейзера «Старый» неустойчивый и зависит как от объёма поверхностной воды, остающейся в грифоне после извержения, так и от температуры воздуха, влияющей на скорость охлаждения выброшенной воды в грифоне.

По данным измерений времени работы гейзера «Новый» (Рис. 4) видно, что его режим был довольно-таки стабилен, хотя стадия покоя, иногда колебалась в пределах 13 минут.

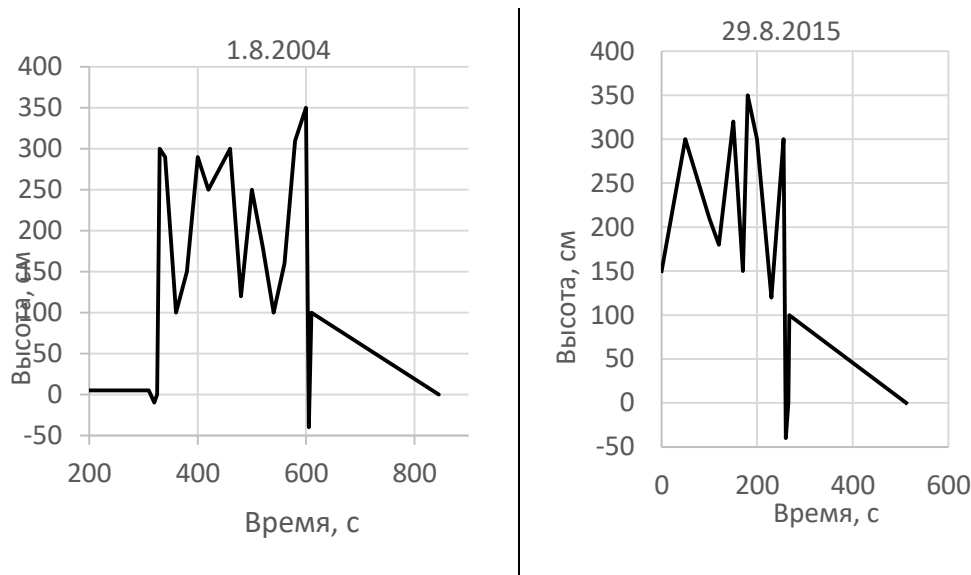


Рисунок 4 – Графики режима работы гейзера «Новый»

После окончания фонтанирования и слива в озеро выброшенной воды, канал опустошается до глубины 35–40 см. Через 1 мин. 50 сек. начинается новое наполнение канала и чаши водой. Температура быстро растёт. Наполнение длится 40 секунд. Далее, в течение 15–17 сек., идут сильные выплески воды с небольшим количеством пара. Затем уровень воды стабилизируется. Слышно «уханье» на глубине, свидетельствующее о схлопывании газово-паровых пузырей вследствие их конденсации в более холодной воде. В это время пузырей на поверхности воды в канале нет. Через 55 сек. появляются пузыри и еще через 12–13 секунд происходит первый «взрыв». Вода с паром выбрасывается на высоту 2–3 м, интенсивно идет заполнение чаши и через 45 сек. начинает течь ручей кипятка. Постоянно идут взрывы пара и выбросы воды на 1,5–2,0, иногда – до 3–4 м. Фаза извержения длится от 4 мин. 30 сек. до 4 мин. 45 сек. В период извержения изливается порядка 20 л/с воды с температурой 95–98 °С. Иногда перед концом извержения вода может быстро уйти на глубину 0,8 м в канале, а потом так же быстро поднимается со взрывом. И на этом извержение заканчивается.

В течение порядка 5 минут идет наполнение чаши гейзера водой с температурой 94–97 °С. Весь цикл процесса – от наполнения чаши водой до её опустошения длится порядка 9 мин. 30 сек. За время извержения на поверхность поступает порядка 6 тонн кипятка. Вероятно, эта цифра отражает объем резервуара подземной камеры. Судя по скорости подъёма перегретой воды, эта камера находится на небольшой глубине и выше уреза воды в озере.

### **Уникальность фреато-магматического извержения в кальдере и эволюция состава гидротерм**

Фреато-магматическое подводное извержение 1996 г. в озере Карымском, заполняющем кальдере Академии Наук, оказалось уникальным явлением не только в связи с тем, что оно подтвердило возможность современных извержений в кальдерах и его удалось наблюдать от начала до конца события. Здесь были получены новые научные результаты по оценке степени катастрофизма, по динамике восстановления гидрохимических характеристик водного бассейна и по газовому составу новых термопроявлений. Важно, что фреато-магматическое извержение вызвало также активизацию гидротермальной деятельности в окрестностях озера и привело к возникновению новых выходов гидротерм, в том числе гейзера «Нового». Была получена принципиально новая информация о динамике потока летучих веществ на участках проявления гидротерм. Обнаружение повышенной гамма-активности в бомбово-шлаковом материале извержения (до 39 мкР/ч) и высокой активности радона (до 50 кБк/м<sup>3</sup>) в эманациях образовавшихся провальных воронок (Кузьмин, Андреев, Карпов, 2007), приуроченных к участкам трещиноватости, чётко контролируемых зоной растяжения субмеридианального простирания, позволяет сделать предположение о том, что трещины дренируют зону глубинной гидротермальной системы. Восходящие потоки газов выносят и радиоактивные элементы. Об этом свидетельствуют следы урана и тория, а также наличие свинца в водах гейзера «Нового». В свободных газах источников Академии Наук объёмная активность радона на протяжении 6 лет после извержения превышала 100 кБк/м<sup>3</sup>. По-видимому, гейзеры возникали здесь и в периоды прошлых подводных извержений. Это подтверждают и данные о высоком содержании свинца в отложениях старого гейзерита. Предполагается, что свинец был результатом конечных продуктов распада урана и тория (Вергасова, Карпов и др., 1988).

### **Роль CO<sub>2</sub> в извержениях гейзеров**

В процессе подводного извержения по разломной зоне на поверхность поступали кислые газы – SO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>S. После извержения в составе газов основное место заняли CO<sub>2</sub> и N<sub>2</sub>. Наши данные о высоком содержании углекислого газа в составе свободных газов гейзера «Нового» (до 78 % CO<sub>2</sub>) могут служить подтверждением представления (J.S.Rinehart, 1980) о том, что приток этого неконденсируемого газа приводит в гейзерах и пульсирующих источниках к импульсному повышению температуры растворов и к извержению (Kiryukhin, 2016, Kiryukhin, Karov, 2020) Именно CO<sub>2</sub> является наиболее высоко-энтальпийной фазой флюида, питающего высокотемпературные гидротермальные системы. Степень обогащения этим газом близповерхностных подземных камер гейзеров и его импульсный прорыв наверх при критическом наполнении камер газами и обуславливают режим работы гейзеров.

### **Список литературы**

1. *Базанова Л.И.* Вулкан Академии Наук / *Л.И. Базанова* // Вулканический центр: строение, динамика, вещество (Карымская структура). М. Наука, 1980. С 195–197. 300 с.
2. *Брайцева О.А.* Фреатомагматическое извержение в озере Карымское (Восточная Камчатка – 6500<sup>14</sup>-С лет назад и импульсы подачи базальтового вещества в районе Карымского вулкана в голоцене / *О.А. Брайцева* // Вулканология и сейсмология. 1997. № 5. С.138–144.
3. *Вакин Е.А.* Гидротермы Карымского озера после подводного извержения 1996 г. / *Е.А. Вакин, Г.Ф. Пилипенко* // Вулканология и сейсмология. 1998. №2. С. 3–26.

4. *Вергасова Л.П.* Постэруптивная деятельность в кальдере Академии Наук (Камчатка): минеральные новообразования, содержание радона в спонтанных газах и биотические изменения / *Л.П. Вергасова, Г.А. Карпов, Е. Г. Лупкина и др.* // Вулканология и сейсмология. 1998. № 2. С. 49–65.

5. *Иванов Б.В.* Современная гидротермальная деятельность в районе вулканов Карымской группы / *Б.В. Иванов* // Гидротермальные минералообразующие растворы областей активного вулканизма. Новосибирск. Наука, 1974. С. 32–37.

6. *Кузьмин Д.Ю.* Спонтанные газы термальных источников кальдеры Академии Наук / *Д.Ю. Кузьмин, В. И. Андреев, Г.А. Карпов* // Материалы ежегодной конференции, посвященной Дню вулканолога Петропавловск – Камчатский, 2007. С. 227–235.

7. *Троицкий В.Д.* Краткий геоморфологический очерк района Карымского вулкана / *В.Д. Троицкий* // Труды Камчатской вулканологической станции. М.-Л., 1947. Вып. 3. С. 49–67.

8. *John S. Rinehart* Geysers and Geothermal Energy / *John S. Rinehart* // Springer Verlag, New York Heidelberg Berlin, 1980. 223 p.

9. *Kiryukhin A.* A CO<sub>2</sub>-Driven Gas Lift Mechanism in Geysers Cycling (Uzon Caldera, Kamchatka) / *Karpov* // *G. Geosciences*. 2020. Vol. 10. № 5. P. 180. DOI: 10.3390/geosciences10050180

10. *Kiryukhin A.* Modeling and observations of geyser activity in relation to catastrophic landslides–mudflows (Kronotsky nature reserve, Kamchatka, Russia). *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 2016. No. 323. P. 129–147.