

Эволюция химического состава оз. Карымское после подводного извержения в кальдере Академия Наук в январе 1996 г. (п-ов Камчатка)

Калачева Е.Г., Волошина Е.В.

Evolution of the lake Karymskoye chemical composition after the underwater eruption in the Academy of Sciences caldera in January, 1996 (Kamchatka Peninsula)

Kalacheva E.G., Voloshina E.V.

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

Показана динамика изменения химического состава оз. Карымское после подводного извержения 1996 г., оценено качество воды по нормируемым показателям.

Кальдера Академии Наук расположена в южном секторе Карымского вулканического центра (Восточный вулканический пояс п-ова Камчатка) (рис. 1). Ее формирование произошло в верхнем плейстоцене (48-22 тыс. лет назад) в результате катастрофического извержения [4]. Кальдерная депрессия со временем заполнилась озером, однако вулканическая деятельность в ней продолжалась, хотя и в меньших масштабах. В начале января 1996 г. в оз. Карымское произошло одноактное подводное извержение, в результате которого у северного берега появился новый полуостров (Новогодний) с подводным кратером (рис. 1б, в), значительно изменился химический состав озерной воды, возникли новые группы термальных источников. Динамика восстановления гидрохимического режима озера после извержения рассмотрена в ряде работ [1, 3, 6-8].

В данной публикации показаны результаты изучения озера в 2024 г. и ретроспективный анализ изменения содержания макрокомпонентов. Для статистики использованы неопубликованные авторские данные и данные из работ [1, 3, 6].

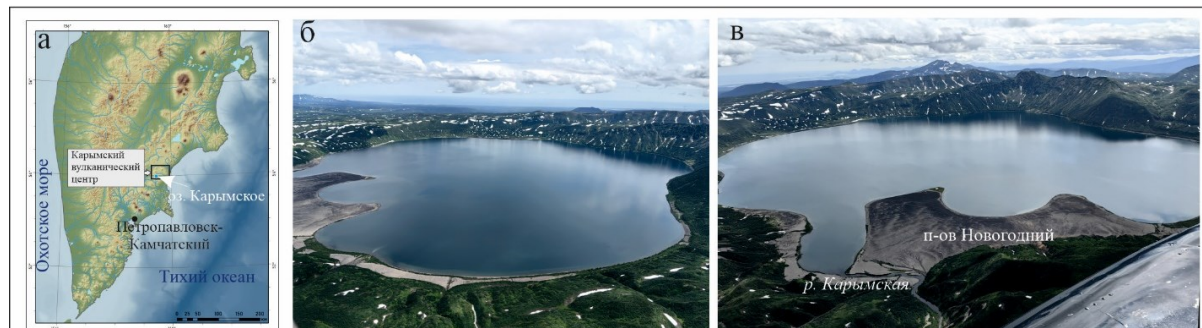


Рис. 1. Расположение Карымского вулканического центра на п-ове Камчатка (а) и кальдера Академии Наук с оз. Карымское (б). Сток из озера (р. Карымская) и п-ов Новогодний (в).

Извержение в кальдере Академии Наук 1996 г.

В начале января 1996 г. в Карымском вулканическом центре происходило почти одновременное извержение из двух эксплозивных центров, находящихся на расстоянии 6 км друг от друга: из вершинного кратера Карымского вулкана и из северного сектора кальдерного озера вулкана Академии Наук [5]. Извержение на вулкане Карымский началось в ночь с 1 на 2 января и с различной периодичностью покоя продолжается до настоящего времени. В кальдерном оз. Карымское, покрытом льдом метровой толщины, в это же время (1-2 января 1996 г.) случилось одноактное подводное извержение. Из эруптивного центра, расположенного на удалении почти 500 м от северного берега озера, произошла серия фреато-магматических взрывов на высоту 2-4 км. Радиус разлета шлака и бомбового материала (размером от 2 см до 2 м) составлял более 1 км от центра эруптивной активности. В результате мощных эксплозий из эруптивного центра на поверхности озера отмечались волны (микроцунами) высотой до 10 м, прокатывающиеся с большой скоростью по всему

зеркалу озера [1]. Ослабла эксплозивная активность в Карымском озере 3 января 1996 г. Из образованного кратера еще наблюдалось интенсивное парообразование на высоту до 1 км, но уже без пепловой нагрузки. Над всей поверхностью озера наблюдалось слабое парение, но эксплозивная активность прекратилась. После спада воды в озере в мае 1996 г. у северного берега появился маар или подводный кратер (получивший название Токарева) диаметром в вершинной части порядка 600 м и глубиной до 60 м. Южный сектор кратера скрывался под водой, а остальные сектора этого сооружения сформировали насыпной п-ов Новогодний, находящийся на 17-18 м выше уровня озера. Площадь полуострова, по данным [5], после образования составляла 0.47 км². В строении полуострова приняли участие как продукты извержения (песчано-шлакособомбовый материал преимущественно базальтового состава), так и породы размываемых берегов и бортовых стенок северной части кальдеры.

Озеро Карымское и эволюция химического состава воды

Озеро Карымское занимает большую часть кальдеры Академии Наук, имеет правильную округлую форму площадью ~12 км², диаметром ~4 км, средняя глубина составляет 60 м. В него впадает более 20 небольших ручьев, на берегу и под водой находятся выходы термальных вод. Практически постоянный уровень и объем воды в озере компенсируются стоком через р. Карымская, вытекающую из северо-восточного сектора вблизи п-ова Новогодний.

Химический состав воды оз. Карымское формируется под влиянием атмосферных осадков, а также поверхностных и подземных вод, питающих водоем. До событий 1996 г. вода в истоке соответствовала Na-HCO₃ (HCO₃-Cl)-типу с минерализацией ~100 мг/л и pH~7. Подводное извержение 1996 г. было кратковременным, но привело к катастрофическим последствиям в кальдере. Прежде всего, это сказалось на химическом составе озерной воды: резко снизился pH до 3.2, изменился гидрохимический тип на Na-Ca-Cl-SO₄ (рис. 2), увеличилась минерализация до 0.6 г/л [1]. В поступлении вещества в озеро принимали участие различные компоненты вулканического процесса: летучие из магматического расплава, аэрозоли, изверженный вулканический материал.

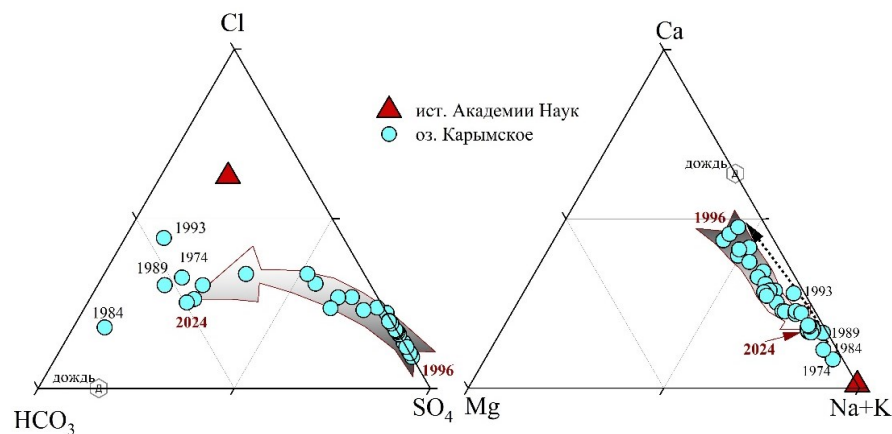


Рис. 2 Эволюция химического состава оз. Карымское, мг/л.

Обратное восстановление физико-химических параметров озера заняло почти 30 лет. По состоянию на 2024 г., по соотношению катионов состав воды близок к данным 1989 г., тогда как в анионном составе первоначальные соотношения еще не достигнуты. Возможно, они уже не будут достигнуты, поскольку, по данным [8], после извержения 1996 г. в озере появилась новая подводная термальная разгрузка с высоким содержанием Cl⁻.

На графиках (рис. 3) отчетливо виден резкий рост концентраций всех компонентов в 1996 г., обусловленный кардинальным изменением химического состава воды в озере. По сравнению с 1993 г., в 1996 г. содержание сульфат-иона в истоке реки

увеличилось до 374 мг/л (в 80 раз), хлорид-иона – до 38 мг/л (в 2.5 раза). Вследствие значительного снижения pH (с 6.7 до 3.2) концентрация HCO_3^- уменьшилась до нуля. В воде появился один из основных спутников вулканических эксгаляций – фтор (1.7 мг/л). Содержание макрокатионов также значительно возросло: Na^+ – в 4 раза, Ca^{2+} и Mg^{2+} – в 10 раз, SiO_2 – в 2.5 раза.

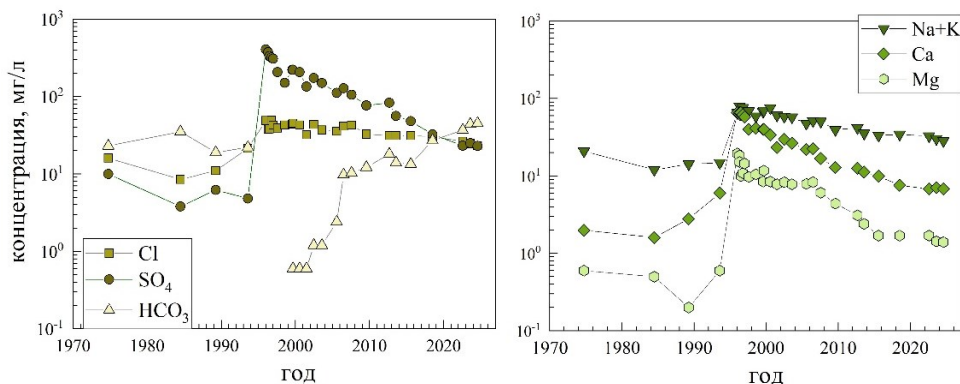


Рис. 3 Изменение содержания макрокомпонентов во времени за период с 1974 по 2024 г.

В последующие годы, благодаря постоянному водообмену, происходило постепенное восстановление гидрохимического режима озера. Как видно из рис. 3, в анионном составе наблюдаются устойчивое снижение содержания SO_4^{2-} и рост концентрации HCO_3^- , продолжающиеся и спустя почти 30 лет после событий 1996 г. Резкое увеличение содержания гидрокарбонат-ионов произошло при повышении pH до 6 (2005-2006 гг.). При этом концентрация хлорид-ионов достаточно долго (до 2007 г.) сохранялась на уровне, установившемся с 1996 г. (~40 мг/л), затем снизилась до 30-32 мг/л (после 2009 г.), что связано с постоянным дополнительным поступлением гидротермального материала в озеро. Тенденция к снижению фиксируется и в 2024 г.

В катионном составе после резкого всплеска прослеживается уменьшение концентраций всех компонентов, происходящее с разной скоростью (рис. 3). Медленнее всего снижается содержание Na^+ , как и Cl. Количество кальция и магния уменьшается значительно быстрее, вследствие отсутствия этих компонентов в составе подводной разгрузки гидротерм, однако оно еще не достигло уровня, фиксировавшегося до извержения. Минерализация воды в истоке реки к 2024 г. снизилась до 157 мг/л, что лишь в 1.5 раза превышает значение 1993 г.

Микрокомпонентный состав и качество воды оз. Карымское

В отличие от макрокомпонентного состава, изучению микроэлементов в составе вод оз. Карымское до настоящего времени практически не уделялось внимания. Необходимых данных, отражающих как период до подводного извержения 1996 г., так и после него, найти не удалось. В связи с этим определить степень влияния вулканического события на микроэлементный состав воды в реке не представлялось возможным.

Поэтому, рассмотрим современную микроэлементную нагрузку в озерной воде по данным 2024 г. Суммарное содержание микроэлементов в истоке составляет 0.92 мг/л. Максимальные величины приходятся на бор (0.47 мг/л), железо (0.18 мг/л), цинк (0.063 мг/л), мышьяк (0.047 мг/л), литий (0.034 мг/л), алюминий (0.026 мг/л), стронций (0.022 мг/л), барий (0.016 мг/л). Концентрации Pb, Cs, Rb, Sb, Ge, Ni, Mn, Zr, Ti, Sc не превышают 0.01 мг/л; содержание остальных элементов, включая сумму редкоземельных элементов, составляет менее 1 мкг/л.

Качество воды оз. Карымское после извержения (по состоянию на 2002 г.) кратко рассматривается в работе [2]. Авторы цитируемой статьи указывают, что в этот период наблюдались значительные превышения предельно допустимых концентраций (ПДК) для вод хозяйственно-питьевого назначения по магнию, бору, литию и кадмию (более чем в 7-10 раз).

В ходе анализа полученных нами данных по состоянию на 2024 г. выявлено следующее. По макрокомпонентному составу и физико-химическим параметрам (рН, температура и минерализация) вода в озере не превышает установленные нормативы ПДК для вод питьевого и культурно-бытового пользования, а также рыбохозяйственного назначения. Однако, по ряду элементов значения ПДК для питьевых вод и вод рыбохозяйственного назначения существенно различаются, что не позволяет дать однозначную оценку качества воды. В истоке вода непригодна для рыбохозяйственного использования из-за загрязнения соединениями меди (17 ПДК), цинка (6 ПДК), мышьяка (4.7 ПДК), молибдена (2.9 ПДК), ванадия (2.7 ПДК), железа (1.8 ПДК) и свинца (1.2 ПДК). Для вод питьевого и культурно-бытового назначения превышения зафиксированы только по содержанию мышьяка (4.7 ПДК) и лития (1.1 ПДК).

Заключение

Подводное извержение 1996 г. оказало значительное влияние на гидрохимию оз. Карымского, выразившееся в увеличении концентрации всех макрокомпонентов и снижении рН. С 2015 г. наблюдается стабилизация химического состава воды в озере, однако концентрации анионов и катионов остаются более высокими по сравнению с данными, полученными до начала активизации вулканической деятельности.

Качество воды оз. Карымское не соответствует нормативным требованиям для вод хозяйственно-питьевого назначения. В настоящее время здесь фиксируются значительные превышения предельно допустимых концентраций вредных веществ для вод рыбохозяйственного назначения по ряду микроэлементов.

Работа проведена в рамках государственного задания ИВиС ДВО РАН по теме «Мониторинг влияния вулканической и гидротермальной активности на химический состав рек Камчатки» (FWME-2024-0014), выполняемой по «Межведомственной программе комплексных научных исследований Камчатского полуострова и сопредельных акваторий в 2024-2026 гг.»

Литература

1. Карпов Г.А. Некоторые геохимические особенности подводного извержения в кальдере Академии Наук 2-3 января 1996 г. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2004. № 4. С. 81-89.
2. Карпов Г.А., Лупкина Е.Г., Андреев В.И., Самкова Т.Ю. Воздействие вулканизма на окружающую среду (на примере извержений в кальдере Академии Наук и вулкана Карымский) // Вестник ДВО РАН. 2007. № 2. С. 82-99.
3. Карпов Г.А., Лупкина Е.Г., Николаева А.Г. и др. Динамика изменения гидрогеохимических характеристик, теплового режима и биоценозов пресных и термальных вод бассейна озера Карымское после катастрофического подводного извержения 1996 г. в кальдере Академии Наук (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 2008. № 4. С. 17-31.
4. Леонов В.Л. Структурные позиции и вулканизм четвертичных кальдер Камчатки. Владивосток: Дальнаука, 2004. 189 с.
5. Муравьев 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.
6. Николаева А.Г., Карпов Г.А., Бычков А.Ю. Гидрогеохимическая эволюция водной среды озера Карымского в период 1996-2015 гг. после подводного извержения (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 2018. № 2. С. 40-60.
7. Kalacheva E.G., Melnikov D.V., Dolgaya A.A., Voloshina E.V. The formation of the chemical composition of Karymsky r. water as affected by hydrothermal and volcanic activity in Kamchatka // Journal of Volcanology and Seismology. 2024. V. 18. Is. 2. P. 132-148.
8. Taran Y., Inguaggiato S., Cardellini C., Karpov G.A. Post-eruptive chemical evolution of a volcanic caldera lake: Karymsky Lake, Kamchatka // Geophysical Research Letters. 2013. V. 40. P. 5142-5146.