

Влияние вулканической и гидротермальной деятельности на формирование химического состава р. Карымская (п-ов Камчатка)

Калачева Е.Г., Мельников Д.В., Долгая А.А.

Influence of volcanic and hydrothermal activity on the formation of chemical composition of the Karymskaya River (Kamchatka Peninsula)

Kalacheva E.G., Melnikov D.V., Dolgaya A.A.

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;

e-mail: keg@kscnet.ru

В данной работе, на примере Карымского вулканического центра, дается оценка степени влияния вулканической и гидротермальной деятельности на химический состав речных вод, показаны объемы поступления магматических компонентов и продуктов химической эрозии вулканогенных пород из р. Карымская в акваторию Тихого океана.

Вулканические районы играют ключевую роль в регулировании геохимических циклов различных важных элементов и их участии в изменениях климата, состава атмосферы и биосферы Земли. Во время извержений на поверхность Земли поступают гигантские массы вещества в виде пирокластики и лавовых потоков. Попадая в атмосферу, вулканический пепел переносится воздушными течениями на большие расстояния, воздействуя на среду обитания человека и природные экосистемы. Другим природным агентом, влияющим на наземные и водные экосистемы, являются разнообразные по своим физико-химическим свойствам термальные воды, разгружающиеся на склонах и у подножий вулканов. Сформированные стоком с источников термальные ручьи, попадая в поверхностные водотоки, могут кардинально менять химический состав речных вод.

Карымский вулканический центр, включающий два действующих вулкана Карымский и Малый Семячик и ряд разрушенных вулканических сооружений разных форм, находится в центральной части восточного побережья Камчатки, на берегу Кроноцкого залива (рис. 1). По своему строению это тектонический купол, осложненный кальдерными депрессиями и вулканическими постройками в осевой части. По расположению кальдер и вулканов здесь выделены три основных сектора: Академический, Карымский и Семячинский [1].

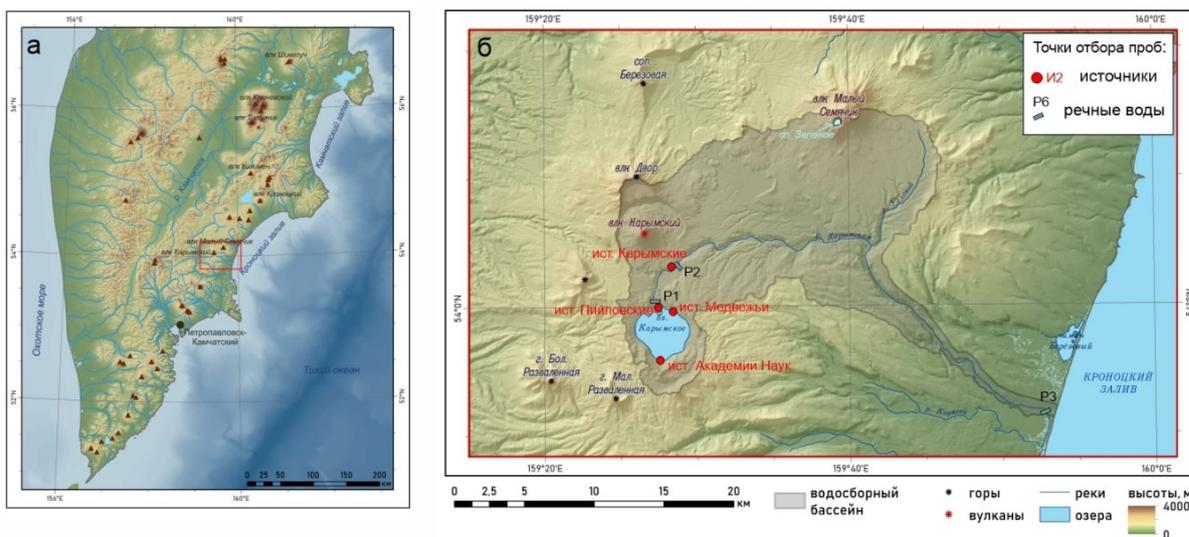


Рис. 1. Местоположение Карымского вулканического центра (а) и точки отбора термальных и речных вод (б).

Кальдера Академии Наук сформировывалась внутри более крупной кальдеры вулкана Однобокого в южном секторе Карымского вулканического центра (см. рис. 1б).

Большую часть кальдеры занимает оз. Карымское площадью 12 км² и средним диаметром 4 км. В озеро впадает около 30 постоянных и временных водотоков, на берегу и под водой находятся выходы термальных вод. Основная разгрузка термальных вод представлена кипящими щелочными, в том числе и с гейзерным режимом, источниками Академии Наук. В анионном составе термальных вод преобладает Cl⁻, с максимальной концентрацией ~400 мг/л, содержание SO₄²⁻ и HCO₃⁻ в среднем составляет ~100 мг/л. В катионном составе основную роль играет Na⁺ (~350 мг/л).

Кальдера Карымская (см. рис. 1) – вулcano-тектоническая структура обрушения размерами 5×6.5 км, возникшая 7900 лет назад в результате катастрофического извержения дацитовой пемзы, разрушившего существовавший на этом месте вулкан Пра-Карымский. Спустя 2500 лет, с извержения базальтовых лав началось формирование вулкана Карымский. Для него характерны эксплозивные и эксплозивно-эффузивные извержения. Состав изверженного материала – от андезитов до дацитов. С 1771 г. (когда появились первые исторические сведения) произошло более 20 извержений [1]. С начала 1996 г. вулкан Карымский находится в активной фазе. На начальном этапе наблюдались излияния коротких лавовых потоков, с 2005 г. происходят пепловые выбросы на высоту до 5 км над уровнем моря. В межэруптивные периоды наблюдается постоянная дегазация.

В юго-восточной части кальдеры расположена плоскодонная котловина 3.5×1.5 км. Это наиболее пониженный участок кальдеры, в который направлен общий грунтовый сток холодных вод с площади более 40 км², в результате чего территория сильно обводнена и заболочена. В центре котловины на площади ~2 км происходит разгрузка углекислых термальных вод. Встречаются источники двух типов: восходящие интенсивно газирующие с температурами до 42 °С с невысокими дебитами (до 1 л/с) и нисходящие мощные потоки вод, насыщенные углекислотой с дебитами до 100 л/с. Источники первого типа расположены непосредственно на заболоченном участке, хорошо заметны с большого расстояния за счет яркого окраса осадка, формирующегося при выходе термальных вод на поверхность. Источники второго типа разгружаются из-под лавовых потоков и скрыты кустарниками. Все источники кальдеры Карымской имеют необычный состав, с преобладанием среди катионов Mg²⁺ (Mg > Na > Ca > K), с высоким содержанием сульфат- и гидрокарбонат-ионов. В наиболее горячих Карымских источниках количество SO₄ и HCO₃ примерно равное и составляет >600 мг/л. Концентрация хлор-ионов не превышает 200-250 мг/л.

Вулкан Малый Семячик (рис. 1), расположенный в северо-восточной части центра, представляет собой массив протяженностью ~3 км, состоящий из трех слившихся разновозрастных построек. Крайно-Семячик – единственный действующий конус, увенчанный глубоким кратером, дно которого занимает оз. Зеленое, образовавшееся после извержения 1945-1946 гг. Озеро содержит ультракислую (pH<1) воду сульфатно-хлоридного состава с минерализацией от 8 до 42 г/л в зависимости от состояния вулкана.

Единственным водосборным элементом для Карымского вулканического центра является р. Карымская. Она уравнивает практически постоянный уровень и объем воды одноименного озера в кальдере Академии Наук, пересекает котловину кальдеры Карымской, собирая весь грунтовый и термальный сток. В среднем течении она принимает воды руч. Угловой, дренирующего склоны вулкана Малый Семячик, и впадает в Кроноцкий залив Тихого океана (рис. 1).

Для изучения гидротермального и вулканического вклада в состав р. Карымская, а также для оценки выноса растворенных компонентов, на р. Карымская нами были проведены гидрологические и гидрохимические работы на трех гидропостах: в истоке, ниже всех источников и в устье реки. Также проведено опробование всех групп термальных вод, разгружающихся в пределах кальдер.

В истоке реки состав воды отвечает интегрированному составу озера. В работе [4] было выявлено увеличение выноса хлор-ионов в три раза, по сравнению с данными 1984 г., за счет образования подводных выходов термальных вод после извержения 1996 г. Наши данные 2018 г. (таблица) подтверждают полученные ранее результаты.

Таблица. Расходы, анионный состав (мг/л) и гидротермальные потоки Cl, S и CO₂ (т/сутки) из Карымского озера и Карымского центра

Дата	Q (м ³ /с)	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl	SO ₄	CO ₂	Источник
Верхний гидропост (исток р. Карымская) (P1)								
июль 1984 г.	2.9	8.5	3.8	35	2.1	0.95	6.3	[2]
июль 2015 г.	2.0	38	39	49	6.6	6.7	6.1	[4]
июль 2018 г.	2.4	32	33	41	6.8	6.8	6.1	наши данные
Средний гидропост (ниже Карымских источников) (P2)								
июль 1984 г.	6.7	30	66	137	17.4	38.2	57	[2]
август 2015 г.	4.5	54	84	175	21	32.6	49	[4]
июль 2018 г.	4.7	52	111	165	21.1	45.1	48.2	наши данные
Нижний гидропост (устье р. Карымская) (P3)								
сентябрь 2021 г.	9.0	28	84	107	21.8	65.3	59.9	наши данные

Общий дебит источников в кальдере Карымская, по данным 1984 г. [2] и 2015 г. [4], составляет ~700 кг/с концентрацией Cl⁻ ~250 мг/л. На нижнем гидропосту в 2015 и 2018 гг. расход реки был достаточно стабилен (таблица). Учитывая тот факт, что в составе атмосферных осадков и холодных грунтовых вод долины содержание хлор-ионов минимальное, можно предположить, что весь растворенных хлор поступает в реку только с термальными водами. Ежедневно, по нашим оценкам, за пределы Карымской кальдеры р. Карымская выносит более 20 тонн Cl⁻, ~30 % поступает с термальными водами Академического сектора и ~60 % с источниками, расположенными в Карымской кальдере. Объем выносимой рекой растворенной серы (в виде SO₄²⁻) составляет 45 тонн/сутки. Карымскими источниками, при общем дебите 700 л/с и концентрации ~640 мг/л, по данным 2018 г., привносится 38 тонн/сутки, столько же, сколько было до начала активной фазы в деятельности вулкана Карымский в 1984 г. (см. таблица). Около 7 тонн ежедневно выносятся из оз. Карымское, которое аккумулирует серу, поступающую как с термальным стоком, так и с пеплами вулкана Карымский, содержащими водорастворимые сульфатные минералы. Объемы поступающего растворенного CO₂ в реку определяется как термальным стоком, так и стоком грунтовых/поверхностных холодных вод. Доля ежедневного гидротермального поступления CO₂ в реку, при средней концентрации HCO₃⁻ (650 мг/л) в Карымских источниках, составляет 58 % (28 тонн). Около 15 % выносятся со смешанным стоком из оз. Карымское и 27 % (14 тонн/сутки) привносится с холодными водами в долине.

В ходе экспедиционных работ 2021 г. была опробована р. Карымская в устье, а также получены данные по единственному ее крупному притоку – руч. Угловой, дренирующему склоны вулкана Малый Семячик (рис. 1).

Река Карымская в устье имеет достаточно высокую для поверхностных вод минерализацию – 333 мг/л, что обусловлено, в первую очередь, поступлением минеральных компонентов с термальными водами кальдер Академии Наук и Карымская. Объем выносимого рекой Cl⁻ и растворенного CO₂ в целом сохраняется на уровне, выявленном при изучении влияния гидротермальной деятельности на химию воды реки в долине Карымской (таблица). То есть, в среднем и нижнем течении р. Карымская отсутствуют дополнительные источники поступления этого элемента. Ручей Угловой не вносит значительного вклада в общую гидрохимию реки. Общее количество сульфат-иона, содержащегося в устьевой зоне реки, значительно превышает расчеты, полученные на «гидротермальном» участке в кальдере Карымской (см.

таблицу). В среднем и нижнем течении ежедневно происходит дополнительное поступление более 20 тонн серы в виде SO_4 . По результатам изучения приоритетных направлений пепловых облаков, формирующихся при извержениях вулкана Карымский, нами было выявлено, что доминирующими направлениями распространения газовых и пепловых шлейфов являются восточное и юго-восточное от вулкана, т.е. в направлении Кроноцкого залива, в том числе и по долине р. Карымская (рис. 2).

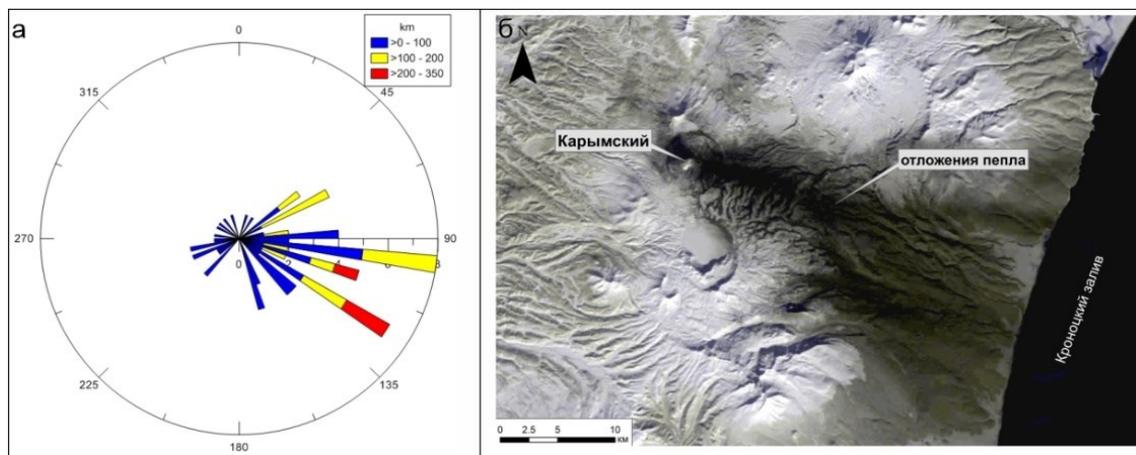


Рис. 2. Диаграмма распространения (частота повторяемости направлений по сторонам света) и протяженности (в километрах) газовых и пепловых шлейфов вулкана Карымский (а) и типичный ареал распространения отложения пеплов от извержений Карымского вулкана. Спутниковый снимок Landsat-8, 02.03.2019 г. (б).

Следовательно, избыток сульфат-ионов в речной воде связан с поступлением водорастворимых соединений серы с пеплами, смываемыми в реку дождями и временными водотоками, возникающими при таянии снежного покрова.

На основании данных химических анализов мы можем также оценить количество растворенных породообразующих элементов, выносимых ежедневно рекой в Кроноцкий залив, и рассчитать объемы смешанной химической эрозии водосборной площади р. Карымская. Водосборная площадь этой реки ограничена кальдерами Карымского вулканического центра и составляет 298 км^2 . В нижнем течении она проходит по узкому каньону. Средняя сумма растворенных катионов+ SiO_2 в устье реки составляет 113 мг/л при расходе – $9 \text{ м}^3/\text{с}$. Следовательно, без учета влияния атмосферных осадков, каждую секунду из Карымского вулканического центра с речным стоком выносится чуть более 1 кг/с растворенных породообразующих элементов, что составляет 88 тонн/сутки . В пересчете на общий объем, химическое выветривание исследуемой территории составляет $\sim 110 \text{ тонн/км}^2/\text{год}$, что практически в пять раз превышает значение, полученное нами для долины р. Камчатка ($23 \text{ тонн/км}^2/\text{год}$), и близко к данным, определенным для Курильских островов, где также широко распространены вулканические и гидротермальные процессы (например, [3]).

Список литературы

1. Вулканический центр: строение, динамика, вещество (Карымская структура) / Отв. ред. Масуренков Ю.П. М.: Наука. 1980. 300 с.
2. Пилипенко Г.Ф. Гидротермы Карымского вулканического центра на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 1989. № 6. С. 85-101.
3. Kalacheva E., Kotenko T., Voloshina E. Chemical weathering fluxes from Paramushir volcanic island (Kuril Island arc, Russia) // E3S Web Conf. 2019. V. 98. Art. 08007.
4. Taran Y., Kalacheva E., Inguaggiato S. et al. Hydrothermal systems of the Karymsky Volcanic Centre, Kamchatka: Geochemistry, time evolution and solute fluxes // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2017. V. 346. P. 28-39.