

## Геохимический мониторинг Верхне-Юрьевских источников (с 1955 по 2019 гг.) (о. Парамушир, Курильские острова)

*Е.Г. Калачева*

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: [keg@kscnet.ru](mailto:keg@kscnet.ru)*

### Введение

Многие вулканы, характеризующиеся фреато-магматической или фреатической деятельностью и постоянной пассивной дегазацией в межэруптивные периоды, вмещают гидротермальные системы. За счет конденсации в близповерхностных водоносных горизонтах легкорастворимых магматических газов ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$ ) происходит образование ультракислых минерализованных растворов. Такие воды редко выходят на поверхность в зоне восходящего потока, преимущественно формируют протяженные латеральные потоки, контролируемые гидравлическим градиентом, выходя на поверхность гипсометрически ниже области их формирования в виде дегазированных горячих хлоридно-сульфатных (сульфатно-хлоридных) источников с низкими значениями pH (<3). Подобная ультракислая гидротермальная система связана с вулканом Эбеко [7], расположенным на о. Парамушир, одном из наиболее крупных островов Курильской дуги. Ее основная разгрузка осуществляется в 2.5 км к северо-западу от вершины вулкана, в долине р. Юрьева (рис. 1).

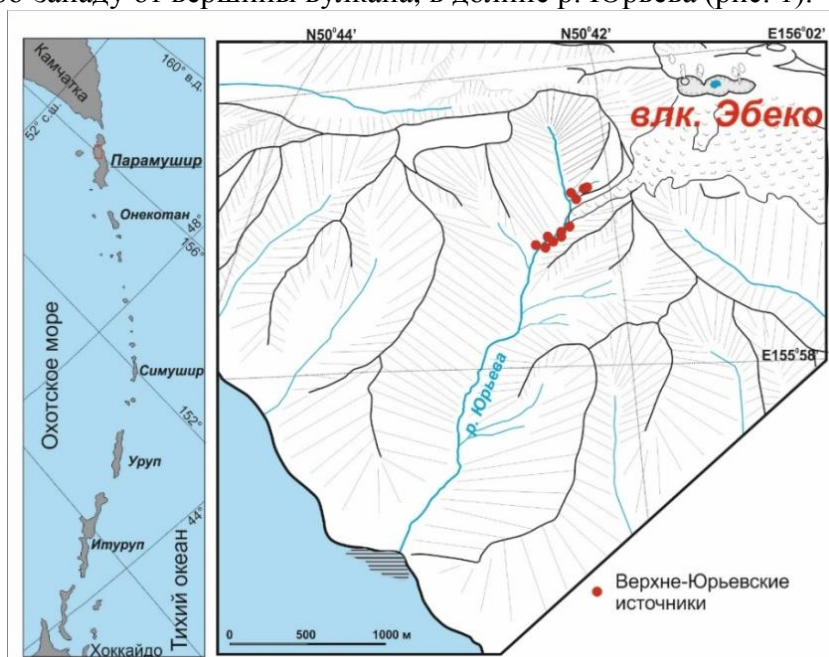


Рис. 1. Курильская островная дуга и долина р. Юрьева

Систематическое исследование термальных источников долины р. Юрьева началось в начале 50-х годов XX века и продолжается с некоторыми перерывами до настоящего времени (см. обзор литературы в [6, 7]). Дано их описание, рассмотрен химический состав (макро и микрокомпоненты), выявлены закономерности миграции отдельных химических элементов в составе термальных вод.

В данной работе приводится ретроспективный анализ изменения химического состава термальных источников р. Юрьева за весь период наблюдения (1955-2019 гг.). В основу легли опубликованные данные различных исследователей (1955-2001 гг.) и авторские данные (2003-2019 гг.). Затронуты вопросы, связанные с количественными оценками выноса растворенного вещества с термальными водами.

## Результаты и их обсуждение

**Долина р. Юрьева.** Верхне-Юрьевские источники расположены несколькими группами вдоль русла р. Юрьева и ее левого притока на протяжении ~1 км (рис. 1). Термальные воды, разгружающиеся из трещин в измененных лавах вблизи реки или в ее русле, характеризуются высокой температурой (81-89 °С) и минерализацией (до 14 г/л), значениями рН=1.1-1.4. Источники, вытекающие из-под рыхлых обломочных отложений по обоим бортам реки, имеют более низкие температуры (45-62 °С), меньшую минерализацию (6-8 г/л) и рН=1.6-1.8. В результате схода селевого потока в 2017 г., «пропахавшего» часть долины с выходами термальных вод, часть обломочного материала была снесена вниз по течению. На отдельных участках русло реки углубилось более чем на 1 м, вскрыв новые разгрузки, формировавшие ранее подрусловой сток и поступающие в реку на более низких гипсометрических отметках.

**Изменение химического состава вод во времени.** Как следует из графиков (рис. 2), содержания  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , растворенного алюминия и железа в Верхне-Юрьевских источниках в 1950-е годы были заметно выше, чем в последующий период наблюдения. Колебания содержаний остальных катионов ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , Na) не так значительны. В начальный период (1955-1961 гг.) была отмечена максимальная температура воды (94-95 °С) и самый низкий рН (0.86) [1, 2]. Упоминания о низкотемпературных фумаролах в верховьях р. Юрьева также относятся к этому периоду [1].

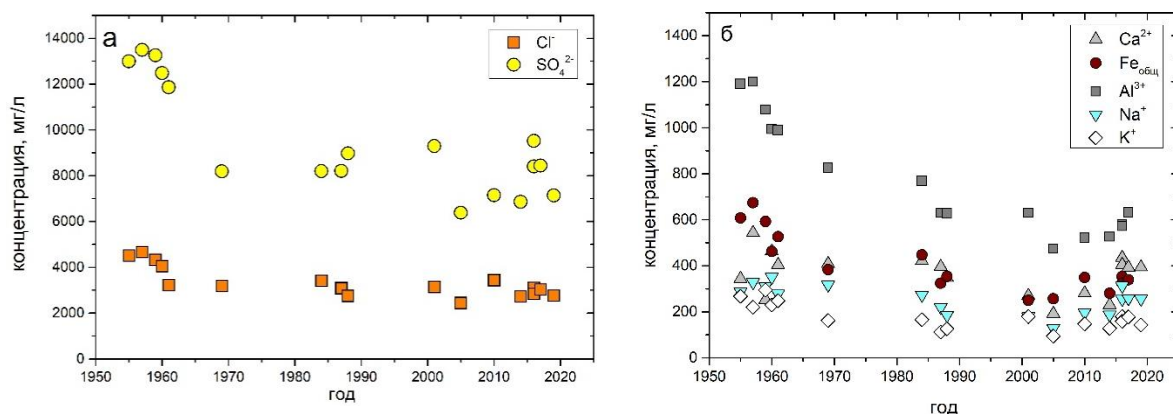


Рис. 2. Изменение химического состава вод во времени: а) анионы; б) катионы. Для построения графиков были выбраны наиболее горячие и минерализованные источники. Данные за период с 1955 по 1987 гг. из [1, 2, 5, 6].

Следует отметить, что гидротермальная активность привершинной части вулкана Эбеко до 1963 г. была также значительно выше, чем в последующие годы. В Среднем кратере вулкана находилось горячее кислое озеро с  $T$  от 30 до 60 °С и глубиной до 20 м, с многочисленными фумаролами по его берегам и на дне, а также крупным термальным источником дебитом ~2 л/с на его южном берегу [2, 5]. Большой кипящий котел диаметром до 6 м с выбросами воды и пара на высоту до 1-3 м занимал центральную часть Южного кратера. С начала 60-х годов гидротермальная активность кратерной части вулкана стала спадать и к середине 1960-х годов практически прекратилась [4, 5].

Как показано в [4], причиной изменения гидротермальной деятельности в кратерах вулканов могли стать изменения в системе питающих каналов фумарол и переток основной массы флюида в Северный кратер. Однако такое событие могло бы привести к более резкому изменению гидротермального режима, тогда как, согласно данным наблюдений 1950-х-1960-х годов [2, 5], ослабевание происходило постепенно, на протяжении длительного (более 10-15 лет) периода. Следовательно, масштабные изменения в гидротермальной деятельности могли произойти не в результате отдельных триггерных событий, а в ответ на общее уменьшение потока магматического флюида в гидротермальную систему вулкана. Данных по Верхне-Юрьевским

источникам до начала 1950-х гг. нет, но известно, что озеро и термальные проявления в Среднем кратере вулкана возникли после фреато-магматического извержения 1934-1935 гг. Вероятно, в результате поступления свежей порции магмы в близповерхностные горизонты, приведшего к активизации вулкана, усилилась дегазация и произошло увеличение потока кислых составляющих флюида в существующую гидротермальную систему вулкана. Это вызвало увеличение концентраций  $\text{Cl}^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$  в воде резервуара, понижение pH и, как следствие, усиление взаимодействия раствора с вмещающими породами и переход в раствор большего количества порообразующих элементов, в первую очередь алюминия и железа. Этот эффект отражается повышенными содержаниями этих компонентов в водах Верхне-Юрьевских источников по данным опробования 1950-х гг. Усиление потока флюидов могло привести к формированию восходящего потока термальных вод вдоль ослабленной зоны, выразившееся в формировании термальных источников и мощных фумарол в Среднем и Южном кратерах вулкана. Во второй половине 1960-х гг., после серии фреатических извержений, вулcano-гидротермальная система вернулась к существовавшему до событий 1930-х гг. равновесию. Химический состав Верхне-Юрьевских источников в период с 1970 по 2016 гг. менялся незначительно (рис. 2).

Отсутствие постоянного мониторинга не дает возможность говорить о реакции источников на усиления активности вулкана в этот период. Только при ежегодном опробовании (2014-2019 гг.) удалось выявить отклик системы на вулканические события. Осенью 2016 г. начался новый этап эруптивной активности вулкана, продолжающийся и в настоящее время. Наблюдения за геохимией вод источников показали, что в 2016-2017 гг. произошло утяжеление их изотопного состава ( $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta\text{D}$ ) с одновременным ростом (по сравнению с данными 2014 г.) концентраций  $\text{Cl}^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ , что является прямым следствием увеличения поступления магматического флюида в гидротермальную систему [3]. В этот же период увеличились содержания основных катионов в воде (рис. 2).

**Вынос растворенного вещества.** Верхне-Юрьевские источники играют большую роль в гидротермальном выносе магматических летучих и порообразующих компонентов. Как показано выше, усиление или уменьшение флюидного потока, питающего систему, влияет на геохимию подземных вод в постройке вулкана, изменяя не только концентрацию  $\text{Cl}^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ , но и степень взаимодействия между водой и вмещающей породой. В результате, количественные оценки выноса растворенного вещества могут существенно меняться во времени. В таблице приведен краткий химический состав р. Юрьева в устье и гидротермальный вынос хлора, серы, алюминия и железа в разные годы. В летний (июль-август) период расход реки достаточно стабилен и составляет  $1.5-2 \text{ м}^3/\text{с}$ , уменьшаясь в осеннюю межень до  $0.8-1 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Полученные данные свидетельствуют о значительном снижении в начале 1960-х гг. потока растворенного вещества, выносимого термальными водами, что отмечалось также в [4, 6]. В последние 35-45 (?) лет он достаточно стабилен. Разброс данных находится в пределах погрешностей методов измерения (15-20%). Значимого изменения в общем гидротермальном стоке в связи с продолжающейся активизацией вулкана не выявлено.

### **Выводы**

Верхне-Юрьевские источники относятся к редкому типу ультракислых термальных вод, формирующихся в постройке активного вулкана.

Только в начальный этап геохимического мониторинга (1955-1963 гг.) температура, концентрация отдельных компонентов и минерализация в целом характеризовались максимальными значениями. Гидротермальный поток хлора, серы, алюминия и железа в этот период был также максимальный.

Таблица. Химический состав и количественные оценки выноса растворенного вещества р. Юрьева.

	1957 [1]	1960 [6]	1969 [4]	1987 [6]	2014	2016	2017
Расход реки, м <sup>3</sup> /с	1.8	1.8	1.9	0.77	1.5	1.5	2.0
T, °C		20.0	22.0	19.8	20.0	20.6	14.5
pH	2.0	1.36	1.76	1.87	1.81	2.59	2.07
Cl <sup>-</sup> , мг/л	1432	1701	926	1136	632	651	481
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/л	4320	4253	2593	3202	1715	1946	1433
Fe <sub>общ.</sub> , мг/л	215	200	108	162	66	116	43.4
Al <sup>3+</sup> , мг/л	435	441	238	292	146	168	105
Вынос растворенного вещества, т/сутки							
Cl	223	265	149	75.6	81.9	83.2	84.7
S	168	165	104	53.2	55.6	62.2	63.1
Fe	33.4	31.1	17.3	10.8	8.6	13.9	7.7
Al	67.6	68.6	38.2	19.4	18.9	20.0	18.4

Дальнейшие колебания химического состава вод не так значительны, а вынос растворенного вещества достаточно стабилен. Вынос хлора составляет 80±5 т/сутки, серы – 58±5 т/сутки, алюминия – 19±1 т/сутки, железа – 10±3 т/сутки.

Возможно, данные последних десятилетий отражают условно равновесное состояние гидротермальной системы вулкана Эбеко, а более высокие показатели 1950-х –1960-х гг. связаны с последствиями внедрения свежей порции магмы и последующим фреато-магматическим извержением вулкана в 1934-1935 гг.

Частота опробования источников в период с середины 1960-х годов до начала 2000-х не позволяет однозначно судить об откликах в составе термальных вод в периоды активизации вулкана. Ежегодный отбор проб позволил определить изменения в геохимии вод в связи с вулканическими событиями последних лет.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 20-05-00517.

### Список литературы

1. Зеленов К.К., Ткаченко Р.П., Канакина М.Л. Перераспределение рудообразующих элементов в процессе гидротермальной деятельности влк. Эбеко (о. Парамушир) // Тр. ГИН АН СССР. Вып. 141. 1965. С. 140-167.
2. Иванов В.В. Современная гидротермальная деятельность вулкана Эбеко на острове Парамушир // Геохимия. 1957. № 1. С. 63-77.
3. Калачева Е.Г., Таран Ю.А. Процессы, контролируемые изотопный состав ( $\delta D$  и  $\delta^{18}O$ ) термальных вод Курильской островной дуги // Вулканология и сейсмология. 2019. № 4. С. 3-17.
4. Никитина Л.П. Миграция металлов с активных вулканов в бассейн седиментации. М.: Наука, 1978. 80 с.
5. Сидоров С.С. Активизация вулкана Эбеко в 1963-1964 гг. и эволюция его гидротермальной деятельности в предшествующий период // Бюллетень вулканологических станций. 1966. № 40. С. 61-69.
6. Фазлуллин С.М. Геохимическая система р. Юрьева (Курильские о-ва): условия поступления и выноса химических элементов в бассейн реки // Вулканология и сейсмология. 1999. № 1. С. 54-67.
7. Kalacheva E., Taran Y., Kotenko T., et al. Volcano-hydrothermal system of Ebeko volcano, Paramushir, Kuril Islands: Geochemistry and solute fluxes of magmatic chlorine and sulfur // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2016. V. 310. P. 118-131.