



УДК 550.461:556.113/114

Е. Г. Калачёва

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

Роль Нижне-Кошелёвских парогидротерм в формировании химического состава вод ручья Гремучего (Южная Камчатка)

Основываясь на детальном изучении геохимических особенностей вод руч. Гремучего, пересекающего Нижне-Кошелёвскую термоаномалию, определена степень влияния парогидротерм на изменение его макро- и микрокомпонентного состава. Следствием данного воздействия стало изменение гидрохимического типа речных вод с гидрокарбонатного кальциевого на сульфатный аммониевый и значительное повышение температуры, с 1°С до 85°С. Изменение физико-химических параметров отразилось на формах миграции металлов в воде. Оцененный общий вынос минерального вещества с речными водами составляет 1125 кг в сутки.

Введение

Влк. Кошелёвский (вулканический массив, состоящий из пяти крупных вулканических построек) расположен в южной части полуострова Камчатки у Охотского побережья. Формирование и развитие его происходило на протяжении периода плейстоцен-голоцена. Сложен вулканический массив базальтовыми и андезитовыми лавами и лавобрекчиями [5]. Фундаментом ему служат эффузивно-пирокластические образования Озерновского комплекса верхнеплиоценового возраста. Последнее историческое извержение влк. Кошелёвский произошло в конце 17 века [2]. К вулканическому массиву приурочены две крупные термоаномалии: Верхне- и Нижне-Кошелёвская и ряд горячих термальных источников. Подробное описание Нижне-Кошелёвских парогидротерм, их химический состав и условия формирования представлены в статье Е. А. Вакина с соавторами [1]. В данной работе впервые рассматривается влияние Нижне-Кошелёвских парогидротерм на химический состав вод руч. Гремучего, производится количественная оценка выноса растворённых элементов за пределы термоаномалии.

Исходные данные и методика работ

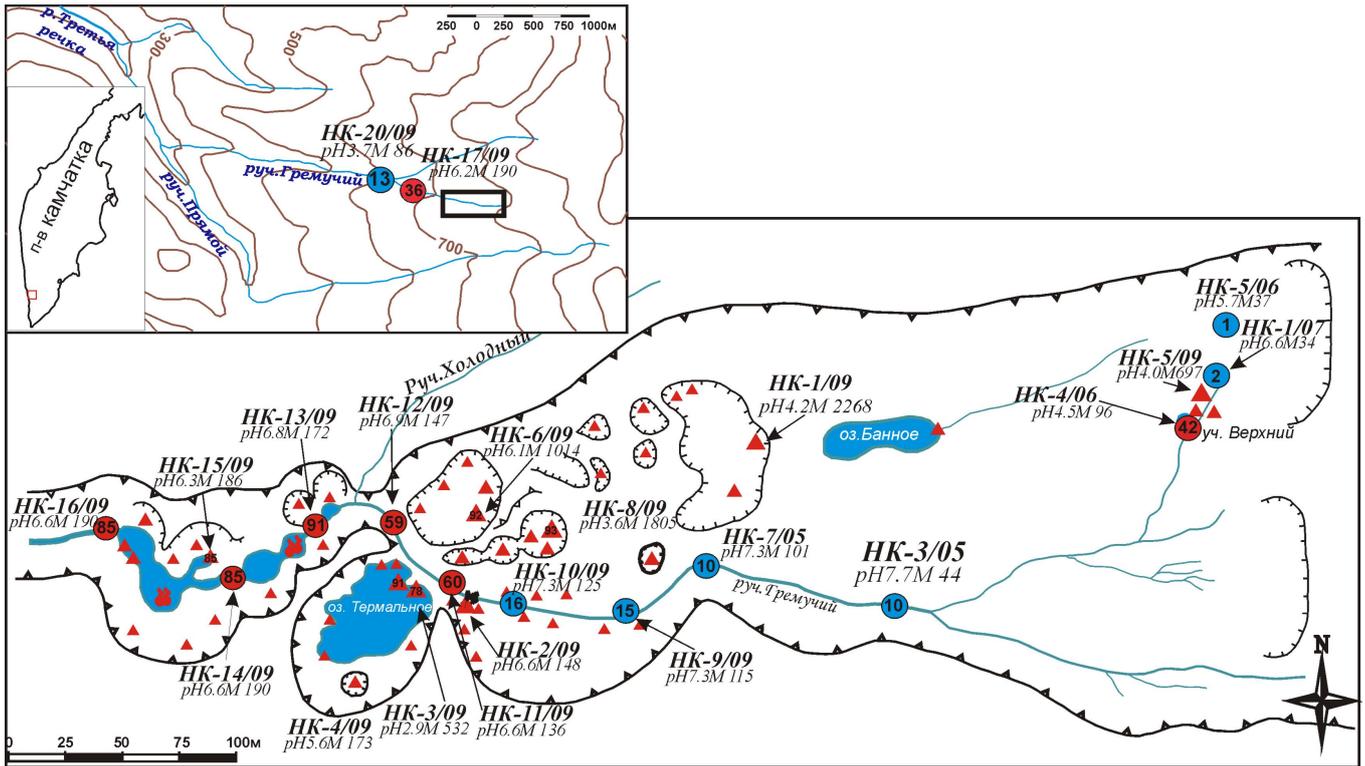
Опробование вод руч. Гремучего и термальных источников производилось в летнюю межень в период с 2005 по 2009 гг. и заключалось в измерении физико-химических параметров воды (рН, Eh и температура, °С) в точке отбора проб с помощью портативных мультипараметровых анализаторов WATER TEST и Multi 340i/SET немецкой фирмы WTW и непосредственно в отборе водных проб. Для отделения растворённой части и тонких коллоидов от взвеси пробы воды для химического анализа отфильтровывались на месте отбора через мембран-

ный фильтр 0,45µ. Далее пробы на общий химический анализ помещались в специальную пластиковую тару объёмом 0,5 л. Пробы на анализ микрокомпонентного состава помещались в отдельные контейнеры и подкислялись сверхчистой HNO₃ до pH = 2.

Общий химический анализ, включающий определение ионов NH₄⁺, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻, Cl⁻, F⁻, SO₄²⁻, H₃BO₃, H₄SiO₄ проводился в аналитическом центре Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (г. Петропавловск-Камчатский) потенциметрическим, объёмным, колориметрическим и атомно-абсорбционным методами. Анализ микроэлементов широкого спектра и РЗЭ выполнялся в аналитическом центре Института геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН (г. Иркутск) методом индуктивной плазменной масс-спектрометрии (ICP-MS) на приборе Plasma Quad.

Краткая геолого-гидрогеологическая характеристика района работ

Руч. Гремучий берет начало из-под снежников на внешнем склоне старой соммы нижнечетвертичного влк. Третья Речка на высоте 750–780 м на восточной границе Нижне-Кошелёвской термоаномалии (рис. 1). Русло и узкая долина ручья выработаны вдоль зоны крупного тектонического нарушения. Водосборная площадь сложена плейстоценовыми лавами андезито-базальтов с прослойками и линзами агломератов, агглютинатов и шлаков [1]. Расход ручья выше основной разгрузки парогидротерм в летнюю межень составляет 45–50 л/с, а на выходе из термоаномалии 65–70 л/с (измерения 2005–2009 гг.). Выходы Нижне-Кошелёвских парогидротерм сосредоточены на площади 100×300 м вдоль и непосредственно в русле ручья. Нижне-Кошелёвские парогидротермы принадлежат к особой



Условные обозначения:

- Геоморфологические границы термоаномалии
- Отрицательные термальные структуры (воронки, овраги, уступы)
- Термоявления: а) парогазовые струи, грязевые котлы, источники, б) кипящие участки в русле реки
- Каменный развал, перекрывающий русло руч. Гремучий
- Точки отбора водных проб, (цифрами указана температура, °C)
- Вверху - номер водной пробы, внизу - pH и общая минерализация

Рис. 1 Схема расположения точек отбора проб и их физико-химические показатели. (Составлена с использованием материалов [Вакин и др., 1976])

Рис. 1. Схема расположения точек отбора проб и их физико-химические показатели. (Составлена с использованием материалов [1])

группе термальных вод, формирующихся в вадозовой зоне гидротермальных систем, связанных с активным андезитовым вулканизмом. Пар и газ, в основном CO₂, а также другие летучие (H₂S, SO₂, NH₃, CO, CH₄, H₂, N₂), выделившиеся в двухфазной зоне системы [по 6], поднимаясь к поверхности, через породы, непроницаемые для жидкой фазы, адсорбируются грунтовыми водами, насыщенными кислородом. Окисление H₂S до H₂SO₄ в аэрированной воде, проходящее через сложную серию реакций, приводит к образованию низкотемпературных сульфатно-кислых гидротерм. В зависимости от рельефа и местных гидрологических условий на поверхности они проявляются в виде интенсивно газифицирующих бессточных грязевых котлов, луж, горячих источников и парогазовых струй. Катионная часть вод формируется, в основном, за счёт взаимодействия с окружающими породами, а также за счёт

выноса ряда элементов, захваченных парогазовой смесью с глубины. Концентрации основных породообразующих элементов и ряда микроэлементов в водах находятся в прямой зависимости от pH и от степени взаимодействия с породами. Бессточные котлы несут большую минеральную нагрузку, чем источники. Подобные термопроявления получили название гидросольфатары [3].

Результаты и обсуждения

Макрокомпонентный состав. В табл. 1 отражён общий химический состав наиболее ярких представителей Нижне-Кошелевских парогидротерм. Воды источников имеют реакцию от кислой до слабокислой (рис. 1). Общая минерализация, в среднем, составляет 0,3–0,7 г/л, за исключением малодобитных кипящих водно-грязевых котлов (T = 90 – 96° C), где она достигает 2–3 г/л за счёт более высоких

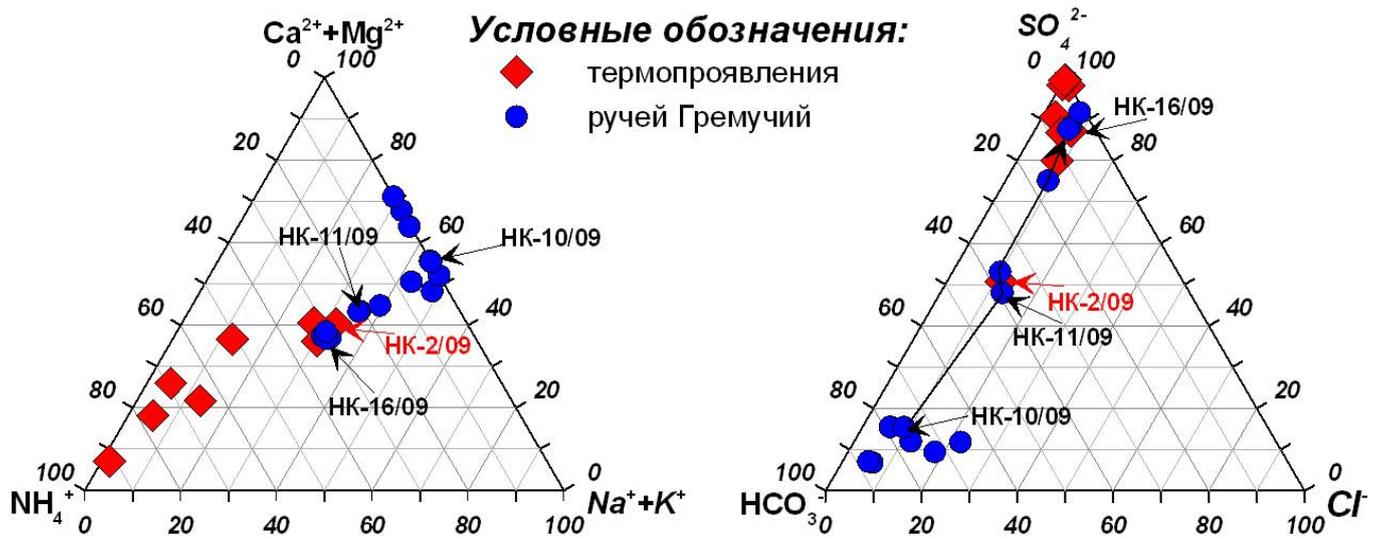


Рис. 2. Диаграмма химического состава термопроявлений и речных вод.

концентраций SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ . Высокие содержания NH_4^+ и SO_4^{2-} определяют тип термальных вод исследуемого района – сульфатный аммониевый. Газовый состав по литературным данным [1] существенно углекислый (до 80 об.%), с повышенным содержанием метана (до 14,3 об.%) и сероводорода (до 9,1 об.%). Кроме этого в составе газа присутствуют SO_2 , H_2 , N , CO , NH_3 .

Истоки руч. Гремучего, питающиеся за счёт выходов на поверхность грунтовых вод и таяния многолетних снежников, до слияния имеют различный химический состав. Формирование химического состава правого истока проходит под влиянием небольшой группы маломощных термопроявлений, расположенных в верхней части ручья (рис. 1). Непосредственно на выходе из-под снежника вода ручья (т. НК-1/07) является ультрапресной ($M_{общ} = 34$ мг/л) и имеет $HCO_3^- Ca$ гидрохимический тип, температуру $1^\circ C$ и $pH = 6,6$. За счёт поступления в ручей термальных вод $HCO_3^- Ca NH_4$ типа, с более высокой минерализацией, составляющей 697 мг/л, средней температурой $60^\circ C$ и $pH = 4,0$ (т. НК-5/09) происходит изменение химического состава вод самого ручья. Гидрохимический тип воды остаётся прежним, но благодаря значительному привнесу гидрокарбонат-иона (рис. 3, т.НК-4/06) общее количество растворенных солей увеличивается в три раза, а температура возрастает до $+42^\circ C$. Левый исток до слияния имеет ультрапресную воду $HCO_3^- Ca$ типа, $pH = 7,7$ и $T = 10^\circ C$ (т. НК-3/05).

После смешения вод двух истоков (т. НК-7/05) и до выхода на основное термальное поле (т.НК-9/09) ручей имеет гидрокарбонатный кальциевый состав (рис. 2) вод с общей минерализацией 0.1 г/л и близнейтральный pH. На этом участке происходит незначительный рост температуры с 10 до $15^\circ C$. Ниже по течению на довольно продолжительном участке, несмотря на многочисленные выходы парогазовых струй у уреза воды, химический состав

вод практически не изменяется. Кардинальное изменение происходит в промежутке между точками НК-10/09 и НК-11/09 (рис. 1), приуроченных к участку, представляющему собой интенсивно раздробленную зону, состоящую из нагромождения обломочного материала. Основная масса воды ручья переходит в подземный сток и появляется на поверхности через 5–7 метров с видимыми невооружённым глазом изменениями. При неизменном расходе температура возрастает до $60^\circ C$ (т.НК-11/09) и в воде появляется большое количество тонкодисперсной взвеси, которая окрашивает её в серый цвет. Значительно изменяется химический состав жидкости. В анионной и катионной части происходит смена определяющих тип воды компонентов (см. рис. 2). Концентрация гидрокарбонат-иона уменьшается с 35,39 мг/л до 25,63 мг/л, а сульфат-иона увеличивается с 3,62 мг/л до 24,74 мг/л (рис. 3). Параллельно возрастает количество ионов аммония с 0,3 мг/л до 4,32 мг/л, при незначительных флуктуациях остальных макрокомпонентов (табл. 1). Общая минерализация при этом увеличивается незначительно, с 125 мг/л до 136 мг/л, а pH уменьшается практически на единицу. Химический состав воды ручья становится практически идентичным составу небольшого интенсивно газирующего озерца с температурой $73^\circ C$ (т. НК-2/09, рис. 3), расположенному между точками НК-10/09 и НК-11/09 (рис. 1).

Резкое изменение в химическом составе ручья после перехода в грунтовый сток происходит за счёт попадания в зону выходов паро-газовой смеси, насыщенной кислыми газами. В сущности, воды ручья на этом отрезке подвергаются воздействию тех же процессов, которые приводят к формированию самих Нижне-Кошелевских гидротерм. Проходя через аэрированный поток воды часть газов (в основном SO_2 , NH_3) конденсируется и растворяется, переходя в ионную форму SO_4^{2-} и NH_4^+ . Механизм данных процессов широко освещён в публикациях как рос-

Таблица 1. Общий химический состав вод (мг/л).

номер пробы	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	H ₄ SiO _{4r}	H ₄ SiO _{4k}
ручей Гремучий										
НК-1/07	0,10	1,61	0,39	1,60	0,00	0,71	0,77	9,76	14,00	5,50
НК-4/06	2,50	3,20	3,30	5,01	1,82	5,67	5,76	36,61	31,80	0,50
НК-3/05	<0,1	4,40	1,50	5,00	<0,2	1,80	2,40	29,30	20,60	2,80
НК-7/05	<0,1	4,90	1,80	12,00	0,50	4,30	7,70	37,80	1,10	30,80
НК 9/09	0,10	7,91	2,72	7,62	1,70	5,27	3,80	26,85	57,66	<0,5
НК 10/09	0,30	7,95	2,80	7,41	1,82	5,13	3,62	35,39	58,56	<0,5
НК 11/09	4,32	7,78	2,77	7,21	1,70	4,91	24,74	25,63	56,10	<0,5
НК 12/09	4,40	7,74	2,80	7,21	1,70	3,99	28,92	25,63	64,22	<0,5
НК 13/09	7,67	8,79	3,00	7,62	1,70	4,73	54,28	14,64	69,56	<0,5
НК 14/09	8,58	8,85	3,06	8,02	1,94	4,45	74,78	4,88	75,08	<0,5
НК 16/09	8,58	9,40	3,08	8,02	1,94	4,42	76,14	6,10	73,48	<0,5
НК 17/09	8,58	9,32	3,11	8,42	2,19	4,65	79,99	1,22	66,48	4,88
НК 20/09	2,00	5,07	1,99	4,21	1,22	3,90	30,04	0,00	26,80	<0,5
основные термопроявления										
НК-1/09	342,00	23,00	10,60	58,92	18,97	<0,7	1344,00	<0,24	255,05	32,31
НК 2/09	5,82	7,29	2,54	6,61	1,82	4,85	29,48	28,07	60,30	0,85
НК-3/09	35,00	8,98	3,30	16,03	7,30	2,84	225,60		91,07	19,49
НК 4/09	8,24	7,51	2,60	8,02	2,19	5,05	65,54	12,20	61,80	<0,5
НК-5/09	107,60	7,90	3,30	25,05	12,16	<0,7	454,08		86,81	<0,5
НК-6/09	107,60	22,54	9,20	25,05	9,12	<0,7	460,80	8,54	249,52	47,44
НК-8/09	405,00	7,18	3,60	26,45	5,11	<0,7	1238,40		93,97	12,59
НК 15/09	8,96	8,69	2,95	8,02	1,70	4,77	73,17	5,49	71,00	1,11
снеговая вода, над терм. полем Верхнее										
НК-5/06	1,70	1,22	0,52	2,20	0,36	0,71	1,92	9,76	8,00	13,00

сийских, так и зарубежных авторов. Однако, за счёт того, что в зону изменения осуществляется постоянный приток новой порции воды, это взаимодействие имеет динамический кратковременный характер, и количество элементов, переходящих в раствор, значительно меньше, чем при длительном процессе формирования термальных вод.

Ниже по течению по обоим сторонам ручья расположен ряд водно-грязевых котлов с диаметром воронок до 1,5–2 метров и термальное озеро, а в местах, где ручей попадает на выходы парогазовых струй, образуются кипящие участки с пульсирующими выбросами воды на высоту до 1–1,5 м. Анализ данных, полученных в результате опробования на этом отрезке ручья, показал дальнейшее увеличение температуры и рост концентраций SO₄²⁻ и NH₄⁺ в его водах (рис. 3). На выходе из термоаномалии водоток имеет устойчивый сульфатный аммониевый тип вод (т. НК-16/09, рис. 3), температуру 85° С и минерализацию 190 мг/л.

За пределами термоаномалии химический состав ручья остаётся стабильным, но с постепенным падением температуры (т. НК-17/09) вплоть до слияния с безымянным ручьём, несущим мощный поток ($Q \sim 100 - 120$ л/с) холодных пресных вод.

Микроэлементы. Содержание микрокомпонентов в гидротермах Нижне-Кошелевского термального поля невысоко и, в целом, не превышает первые десятки мкг/л, а для ряда элементов — десятые доли мкг/л (табл. 2). Максимальные концентрации их наблюдаются в водно-грязевых котлах (точки НК-1/09, НК-3/09, НК-5/09, НК-8/09). В этих термопроявлениях в ряде сидерофильных элементов лидирующее положение занимает общее Fe, достигая 12 мг/л. Также в них наблюдаются повышенные концентрации некоторых литофильных элементов, таких как Al, Mn, Sr и редких щелочных металлов.

Концентрации большинства микрокомпонентов в водах ручья на всём протяжении практически не изменяются (табл. 2) и составляют от 0,001

Таблица 2. Микроэлементный состав вод (мкг/л).

Элемент	Al	Mn	Fe	Li	Ti	V	Cr	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Mo	Sn	Cs	Ba	Pb
Пред.обн. мкг/л	4,0	0,1	1,2	0,3	0,2	0,01	0,1	0,1	0,7	0,1	0,0	0,8	0,1	0,03	0,01	0,1	0,02
ручей Гремучий																	
НК-1/07	н.п.о	1,4	н.п.о	н.п.о	0,7	0,2	н.п.о	0,5	6,3	0,3	0,4	н.п.о	н.п.о	1,4	0,0	н.п.о	0,1
НК-4/06	542,5	94,3	2143,6	0,5	39,5	3,1	0,3	5,2	10,2	1,0	2,2	19,5	н.п.о	0,9	0,1	7,2	0,5
НК-3/05	103,5	22,9	478,0	н.п.о	21,2	1,7	30,9	4,0	32,3	н.п.о	1,0	17,9	0,4	0,4	0,0	3,3	2,4
НК-9/09	34,2	4,3	42,1	1,7	0,6	4,7	1,2	0,7	32,6	0,4	2,5	29,6	0,3	0,8	0,0	6,1	0,8
НК-10/09	37,8	3,2	65,8	1,6	2,1	4,1	2,4	1,2	49,2	0,7	2,4	27,1	0,6	2,4	0,1	11,8	2,0
НК-11/09	39,1	19,8	66,5	1,6	0,5	3,5	1,0	0,6	29,2	0,4	2,5	28,1	0,3	1,0	0,1	8,1	0,9
НК-12/09	53,2	21,1	78,1	1,4	1,6	3,5	1,8	0,9	43,9	0,5	2,4	26,8	0,4	1,8	0,1	11,2	1,5
НК-13/09	71,7	44,7	78,3	1,3	0,6	2,8	0,9	0,6	34,1	0,3	2,8	31,4	0,2	5,8	0,1	10,4	0,9
НК-14/09	91,1	60,4	41,9	1,3	0,2	2,9	0,8	0,4	31,0	0,3	3,2	36,3	0,1	13,2	0,1	11,9	0,6
НК-16/09	70,4	59,8	44,5	1,3	1,0	2,5	1,3	0,7	37,8	0,5	3,0	41,8	0,3	2,3	0,2	14,9	1,1
НК-17/09	53,7	65,9	41,5	0,2	0,8	2,6	0,9	0,7	25,9	0,4	3,1	37,0	0,2	1,7	0,1	13,2	0,8
НК-20/09	25,0	30,7	65,8	0,4	0,7	2,2	0,9	0,6	25,9	0,3	2,0	20,6	0,2	0,9	0,1	9,1	0,9
основные термопроявления																	
НК-1/09	147,1	1926,3	260,8	4,6	1,8	2,1	1,5	1,5	47,1	1,7	34,6	235,7	0,3	3,9	1,2	58,1	1,3
НК-2/09	45,6	21,3	68,6	0,7	1,2	3,0	1,4	1,3	42,8	0,5	2,3	25,3	0,3	1,2	0,1	10,3	1,1
НК-3/09	11071,0	1739,3	15495,7	5,9	1,3	12,9	2,2	0,8	116,9	6,2	4,5	362,0	0,3	1,8	0,1	15,7	0,9
НК-4/9	305,2	55,4	33,5	1,0	0,6	3,4	0,9	0,5	26,9	0,4	2,3	26,0	0,2	0,7	0,1	9,0	0,7
НК-5/09	1537,5	1217,0	3691,2	0,6	0,7	0,1	1,1	1,0	50,3	0,3	7,9	403,8	0,3	1,6	0,3	73,1	0,7
НК-6/9	82,8	450,7	96,6	0,7	1,7	2,2	0,9	0,7	28,4	0,3	19,8	161,7	0,2	4,4	0,6	77,5	0,7
НК-8/09	20,5	442,4	3457,7	0,3	1,2	0,2	0,9	1,2	36,2	0,9	12,5	56,3	0,1	4,5	0,6	28,0	1,0
НК-15/9	105,7	57,0	63,5	0,4	1,5	2,5	1,7	0,9	42,1	0,6	2,9	32,8	0,5	14,8	0,1	14,1	1,4
снег																	
НК-5/06	13,7	4,3	28,0	н.п.о	0,8	0,2	н.п.о	1,2	15,1	н.п.о	0,3	4,0	н.п.о	4,9	0,0	1,7	0,2

Примечание: н.п.о. — ниже предела обнаружения

Таблица 3. Вынос химических компонентов руч. Гремучим за пределы термоаномалии.

	НК-16/09	НК-9/09
	$Q = 0,068 \text{ м}^3/\text{с}$	$Q = 0,045 \text{ м}^3/\text{с}$
	кг/сутки	
NH ₄	50,41	0,00
Na	55,23	20,32
K	18,10	7,46
Ca	47,12	49,77
Mg	11,40	2,07
Cl	25,97	17,83
SO ₄	447,34	31,93
HCO ₃	35,84	156,76
H ₄ SiO _{4к}	431,71	4,56
сумма: основных ионов	1123,10	290,72
Al	0,414	0,142
Mn	0,351	0,018
Fe	0,261	0,175
Zn	0,222	0,135
Sr	0,246	0,123
Ba	0,087	0,025
Li	0,007	0,007
Ti	0,006	0,003
V	0,014	0,020
Cr	0,008	0,005
Cu	0,004	0,003
As	0,003	0,002
Rb	0,018	0,010
Mo	0,002	0,001
Sn	0,013	0,003
Cs	0,001	0,000
Pb	0,007	0,003
микрокомпонентов	1,667	0,675

до 1 мкг/л. Исключение составляют Al, Mn, Ba, Fe, Zn, Sr, содержания которых изначально выше и достигают первых десятков мкг/л. После прохождения водотока по термальному полю и поступлению в него термальных вод в речных водах в несколько раз увеличивается концентрация Al, Mn, Ba (табл. 2).

Количественный вынос и формы миграции растворенных веществ.

Несмотря на то, что, в целом, концентрации элементов в водах ручья Гремучего не велики автором была сделана попытка дать количественную оценку выноса растворённого вещества за пределы Нижне-Кошелевской термоаномалии. В связи с тем, что полевые исследования проводились в летнюю межень, то полученные данные характерны только для этого периода года. Исходным материалом для

расчётов послужили концентрации макро- и микрокомпонентов в воде ручья на входе (т. НК-9/06) и выходе (т. НК-16/09) из термоаномалии и расходы ручья в этих точках. Результаты расчётов приведены в табл. 3. Общий вынос растворенных макрокомпонентов значительно превышает количество привносимого на термальное поле с поверхностным водотоком материала и составляет 1125 кг/сутки. Больше всего за пределы термоаномалии выносятся SO₄²⁻ и H₄SiO_{4п}, около 447 кг/сутки и 432 кг/сутки, соответственно, что составляет 80% от общего количества выноса. Ежесуточный вынос NH₄⁺ составляет 50 кг. Основная масса вышеперечисленных компонентов попадает в ручей уже на термальном поле.

Общее количество выносимых микроэлементов за пределы термоаномалии составляет немного больше 1,5 кг/сутки, тогда как ежедневно привносится около 0,5 кг (табл. 3). В основном, в растворенном виде выносятся в (кг): Al (0,41), Ba (0,09), Mn (0,35), Fe (0,26), Zn (0,22), Sr (0,25). При этом значительная часть таких транспортируемых металлов, как алюминий, марганец и барий поступает в ручей Гремучий с термальными водами.

Изменение физико-химических условий в воде руч. Гремучего по мере прохождения по термальному полю внесло коррективы в формы миграции отдельных компонентов. По результатам расчётов, выполненных с помощью компьютерной программы WATERQ4, выявлено следующее. Щелочные металлы (K, Na, Li) находятся в воде ручья на всём протяжении в виде одновалентных катионов (Me⁺), Al и Fe формируют гидроксокомплексы. Основной формой миграции для Ca, Mg, Sr, Mn, Ba является также аква-ионы (Me²⁺), однако после изменения химического состава вод в ручье часть этих компонентов (12–15%) переходит в сульфатные комплексы (в основном MeSO_{4aq}). Формы Zn, Pb и Cu до термального поля представлены карбонатными и гидрокарбонатными комплексами, при подчиненном значении катионной формы. По мере прохождения по термальному полю и изменению химического состава воды изменяются и формы нахождения этих двух элементов. Основную роль играют при этом аква-ионы (Me²⁺) и до 10–12% приходится на сульфатные комплексы.

Заключение

Анализ полученных данных показал, что вследствие перехода ручья из поверхностного в подземный сток в зоне выходов мощных парогазовых струй, насыщенных кислыми газами, произошло изменение химического типа вод ручья Гремучего с гидрокарбонатного кальциевого на сульфатный аммониевый и значительное повышение температуры. Общая минерализация при этом практически не увеличилась.

Изменение физико-химических параметров вод ручья отражается на формах миграции металлов, в частности, увеличивается доля сульфатных ком-

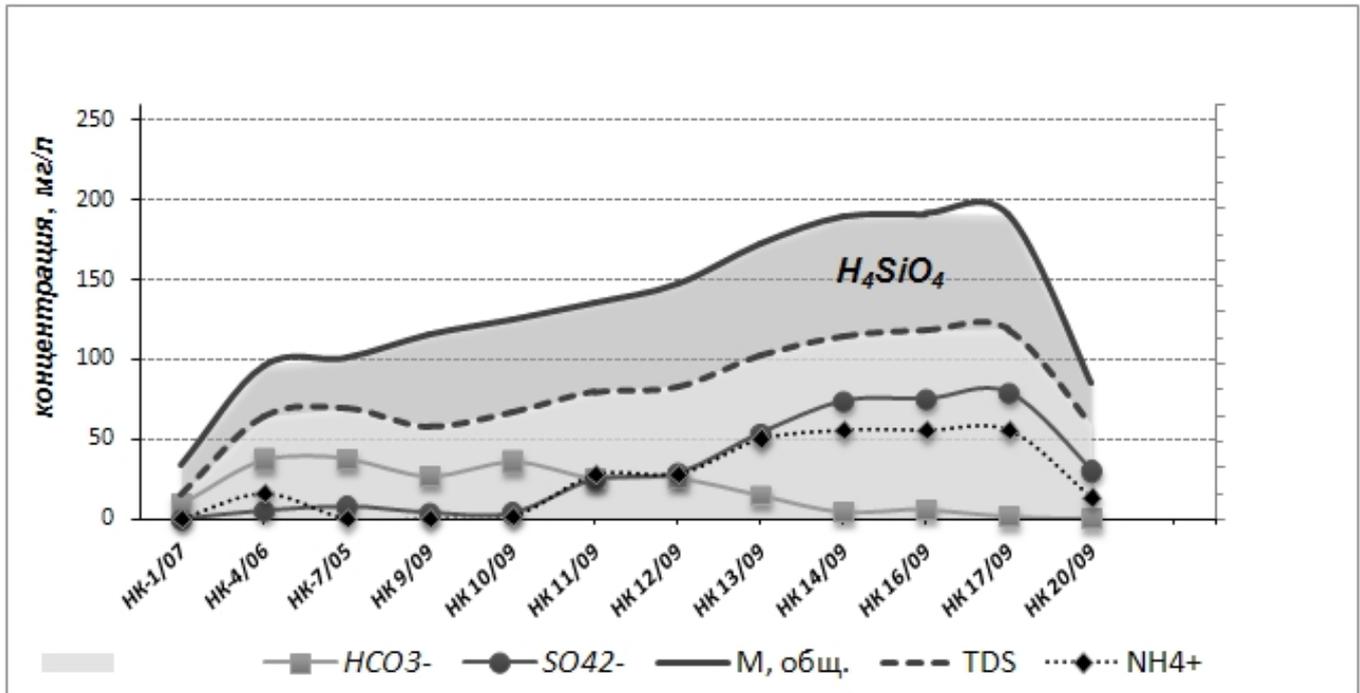


Рис. 3. Распределение концентраций отдельных компонентов в воде по руслу ручья Гремучего.

плексов при снижении количества гидрокарбонатных соединений.

Ежесуточно за пределы термоаномалии в растворенном виде выносятся более 1000 кг растворенных веществ. Основную долю выносимых элементов составляют макрокомпоненты, по большей части сульфат-ион и растворенная кремнекислота.

Автор выражает глубокую благодарность д.г.-м.н. С. Н. Рычагову, за предоставленную возможность участия в Южно-Камчатской экспедиции, к.г.-м.н. Г. П. Королевой за помощь в проведении аналитических работ.

Работа выполнена при поддержке гранта ДВО № 09-III-A-08-423

Список литературы

1. Вакин Е.А., Декусар З.Б., Серезников А.И., Спиченкова М.В. Гидротермы Кошелевского вулканического массива // Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки. Владивосток. 1976. С. 58–84.
2. Литасов Н.Е., Огородов Н.В., Кожемяка Н.Н и др. Паужетская вулcano-тектоническая структура. // Вулканы и геотермы Камчатки. Петропавловск-Камчатский. 1974. С. 47–72.
3. Набоко С.И. Вулканические эксгальции и продукты их реакции // Труды лаборатории вулканологии. Выпуск 16. Изд. АН СССР. Москва. 1959. 302 стр.
4. Рычагов С.Н., Давлетбаев Р.Г., Ковина О.В., Королёва Г.П. Характеристика приповерхностного горизонта гидротермальных глин Нижне-Кошелевского и Паужетского гидротермальных месторождений. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2008. №2. Вып. 12. С. 116–134.
5. Серезников А.И., Литасов Н.Е., Огородов Н.В., Спиченкова М.В. Кошелевский вулканический массив // Бюллетень вулканологической станции. 1973. №49. С. 54–59.
6. Hedenquist J. Epithermal gold mineralisation. Wairakei, New Zealand. 1988, 360 с.