

2. Левин В.Е, Гордеев. Е.И, Бахтиаров В.Ф., Касахара М. Предварительные результаты GPS мониторинга на Камчатке и Командорских островах // Вулканология и сейсмология. 2002. № 1. С. 3-11.
3. Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Пономарева В.В., Сулержицкий Л.Д. Катастрофические кальдерообразующие извержения вулкана Ксудач в голоцене // Вулканология и сейсмология. 1995. № 4-5. С. 28-53.
4. Мелекесцев И.В., Сулержицкий Л.Д. Вулкан Ксудач (Камчатка) за последние 10 тыс. лет // Вулканология и сейсмология. 1987. № 4. С. 28-39.

УДК 551.21 + 551.234: 550.72 (571.66)

РЕЗУЛЬТАТЫ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ТЕРМОПРОЯВЛЕНИЯМИ В КАЛЬДЕРЕ ВУЛКАНА КСУДАЧ, ЮЖНАЯ КАМЧАТКА (ПО ДАННЫМ 1937-2006 ГГ.)

А.Г. Николаева

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский,
683006; e-mail: ocean@kscnet.ru*

ВВЕДЕНИЕ

Важной особенностью вулcano-тектонической системы Южной Камчатки является наличие крупных долгоживущих вулканических центров, один из которых является вулкан Ксудач. Образования подобного рода вызывают повышенный интерес, поскольку в них, наряду с активным и контрастным вулканизмом, широко проявляется древняя и современная гидротермальная деятельность [8].

Кольцевая структура вулкана сформировалась в узле пересечения глубинного разлома северо-восточного простирания с поперечными зонами субширотных нарушений. Такое положение вулкана предопределяет длительный и стабильный вынос тепла и вещества из глубоких горизонтов земной коры и верхней мантии.

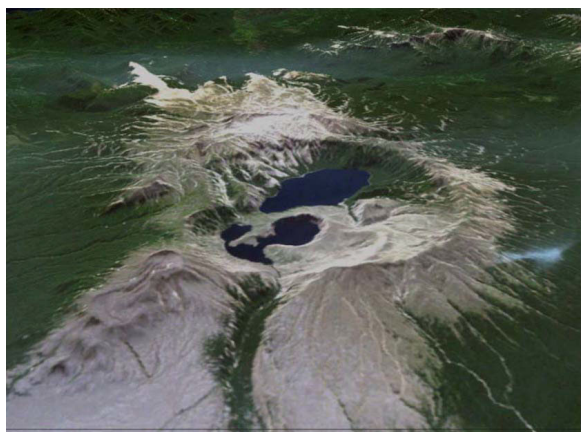


Рис. 1. Вид с северо-запада на кальдере Ксудач.

В морфологическом плане Ксудач относится к довольно редкому типу – кальдера вулкан (рис. 1). Вулканов подобного типа у нас на Камчатке имеется всего лишь два – это Ксудач и Узон, расположенный в восточной части полуострова [14].

Кальдерный вулкан Ксудач характеризуется повышенной интенсивностью и длительностью его вулканической деятельности,

сопровождающейся к тому же еще и прогрессирующей дегазацией [7, 16].

В начале прошлого столетия в кальдере вулкана произошло извержение направленного взрыва, сопровождающееся ...

Ксудач относится к действующим вулканам [1], в его деятельности фиксировалось пароксизмальное извержение в начале прошлого столетия – 1907 г. [2], продуктами извержения которого занимались многие исследователи.

Исследованию геолого-структурной характеристики кальдеры вулкана Ксудач посвящены работы таких ученых как Ю.П. Масуренкова, О.Б. Селянгина, В.С. Шеймовича, Н.Н. Кожемяки и др. [10,16,17].

Кальдера вулкана Ксудач издавна известна своей газо-гидротермальной деятельностью, проявляющейся в виде парящих сольфатар на склонах, расположенного почти в ее центре, экструзивного купола «Парящий утес» и разгрузок горячих терм по берегам и со дна озер Ключевого и Штюбеля.

Постоянных наблюдений в историческое время за газо-гидротермальной деятельностью в кальдере Ксудач не проводилось, скорей всего они носили эпизодический характер.

Первые краткие сведения о существовании сольфатар и круглых, бессточных озер известны нам еще со времен путешествий по Камчатке Карла фон Дитмара, а о теплом озере в кратере Штюбеля, после известного события в кальдере в 1907 г. – из записок Н.Г. Келля, С.А. Конради и П.Г. Новограбленова [3, 6, 13]. Первые данные о химическом составе термальных вод в кальдере вулкана Ксудач появились в результате проведения исследовательских работ в кальдере Б.И. Пийпа. В последующее время выходы термальных вод повторно опробовались на химический и газовый состав такими учеными как В.С. Шеймовичем и Ю.М. Дубиком с И.А. Меняйловым [4, 14, 17]. Последними исследователями в 1968 г. фиксировались некоторые усиления газо-гидротермальной деятельности в кальдере, выражающиеся в периодичности выделения газовых пузырей со дна юго-восточной части озера Штюбеля, затем в разгрузке в южной части одноименного кратера слабощелочных (рН=7.9) горячих ($T=58^{\circ}\text{C}$) вод с низкой минерализацией ($M=461$ мг/л) и хлоридно-гидрокарбонатно-натриевым ($\text{Cl}-\text{HCO}_3 - \text{Na}$) составом, а также в возрастании минерализации в Ксудачских термах (Горячий пляж), разгружающихся в северо-западной части озера Ключевое [5].

Вплоть до конца 80-х годов XX в. пробы воды из разгружающихся по берегам озер термальных вод, отбирались, в основном, попутно при проведении геологических работ в кальдере. Издавна известные термы Горячего пляжа интереса в научном плане в то время не представляли, так как считались вовсе малодобитными (≥ 4 л/сек). Только в начале 90-х XX в., после обследования кальдеры Е.А. Вакиным, представление о характере их разгрузки резко изменилось, так как оказалось, что они имеют в сотни раз больший дебит, чем об этом упоминалось в изданных работах [6,14,17].

После этого, силами сотрудников Института вулканологии ДВО РАН, была организована в 1991 г. комплексная экспедиция в кальдере Ксудач, которая должна была провести в ней гидрохимическую съемку.

Участниками данной экспедиции, в кальдере вулкана, проводился отбор проб воды на химический и газовый состав поверхностных, термальных и озерных вод. В результате проведения этих работ была оценена тепловая мощность и дебит разгружающихся в кальдере гидротерм [15].

В том же году, сотрудниками КамчатНИРО, проводилась батиметрическая съемка системы озер кальдеры Ксудач при помощи эхолота «FE-6200» [12]

Цель и задачи исследований. Цель исследований заключалась в доизучении гидрогеохимии термальных и озерных вод кальдеры вулкана Ксудач.

Для реализации цели требовалось выполнить следующие задачи: систематизировать все известные данные по гидрохимии термальных и озерных вод кальдеры, отобрать и проанализировать пробы воды на макро-, микроэлементный состав из термальных, озерных и холодных вод, уточнить их типы и степень смешения, а также определить гидрогеохимический баланс вещества в озерной системе кальдеры.

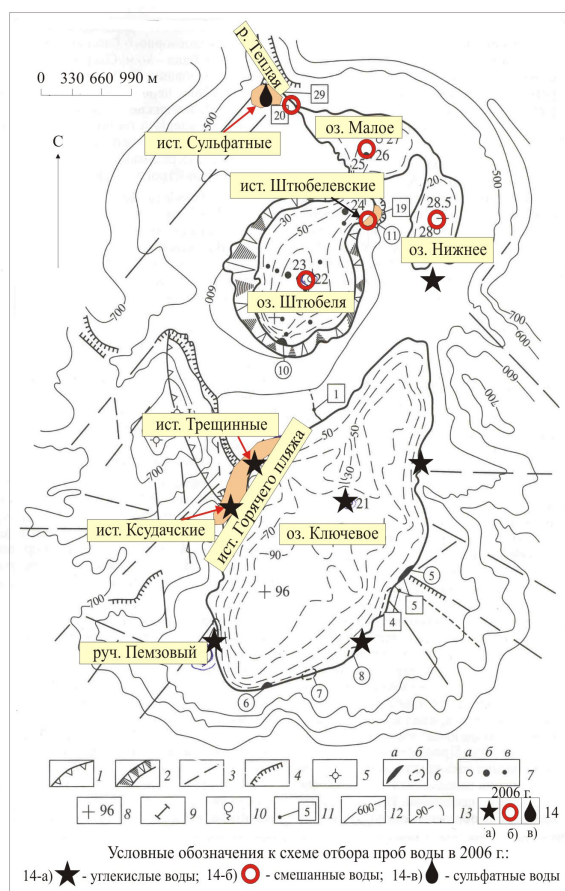


Рис. 2. Схема опробования термальных и озерных вод в кальдере вулкана Ксудач в 2006 г. (За основу из статьи [15] взяты структурная схема участков разгрузки гидротерм в кальдере Ксудач и подрисовочные подписи к ней).

Методы исследований. За основу отбора водных проб в 2006 г. была принята схема опробования, приведенная в работе Г.Ф. Пилипенко и др. [13]. Согласно этой схеме, отбор проб воды был выполнен лишь частично по причине отсутствия необходимых технических средств. В результате были отобраны пробы воды из центральной части озер, из термальных источников, в истоках реки Теплая и затем из некоторых холодных ручьев для определения «местного гидрохимического фона» (рис. 2).

Пробы воды на макроэлементный состав отбирались в пластиковые бутылки емкостью 1 литр, а на микроэлементный – в пластмассовые контейнеры емкостью 20 мл, после обязательной фильтрации воды через мембранные фильтры с размерностью пор 0.45 μm . После всего этого производилась

непременная фиксация проб посредством о.с.ч. азотной кислоты из расчета по 2 мл на каждую пробу. Впоследствии пробы плотно закупоривались для дальнейшей транспортировки в химическую лабораторию.

Анализ водных проб на макроэлементный состав выполнялся обычными стандартными методами в ЦХЛ ИВиС ДВО РАН, а на микроэлементный состав – методом ISP в геохимической лаборатории Центра научных исследований г. Тулузы, расположенного во Франции.

Выполненный в 2006 г. вдоль береговой линии Горячего пляжа температурный профиль А₁-В₁ (см. рис. 13), в основном, повторяет таковой профиль А-В за 1991 г. [13]. Протяженность профиля А₁-В₁ составляет около 800 м, шаг между точками замеров температуры - 10 м, глубина закопушек для измерений температуры – 0.3 м, расстояние от уреза воды – 0.5 м.

Температурный профиль А₁-В₁ был пройден в целях определения участка абсолютного температурного экстремума, необходимого для дальнейшего проведения специализированных режимных наблюдений, в частности, фиксации непрерывной цифровой записи температурных значений при помощи автономного прибора «LOGIS», погруженного в закопушку пляжной зоны. Результаты этих наблюдений предполагалось в дальнейшем использовать для выяснения физических характеристик температурного поля (амплитуды, периодичности температурных пульсаций и др.)

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Поверхностная разгрузка гидротермальной системы в кальдере вулкана Ксудач, осуществляется большей частью низкотемпературными термами по берегам озер Ключевое и Штюбеля (см. рис. 2).

Самая крупная по мощности (дебит ≥ 500 л/сек) разгрузка термальных вод осуществляется, как уже упоминалось, в районе Горячего пляжа. По всей видимости, она представляет собой зону растека термальных вод от основного источника их выхода из-под осадочных отложений первой озерной террасы высотой 5-7 м. В тектоническом плане разгрузка термы, по-видимому, приурочена к разломам и экзоконтактам экстрезии «Парящий уступ». Согласно выводам Г.Ф. Пилипенко данные термы в общем-то являются производными глубинных, высокотемпературных хлоридно-натриевых (Cl-Na) вод, близким аналогом которых, являются кипящие источники в кальдере Карымского озера [15].

Менее крупная по мощности разгрузка терм (Штюбельских), происходит в северо-восточной части кратерного озера Штюбеля. Это в основном рассредоточенная, порой даже скрытая разгрузка терм из-под каменистой осыпи узкого пляжа длиной около 100 м, примыкающего к подножию дацитовой экстрезии Незаметная. С кромки кратера Штюбеля она довольно заметна по ярко-зеленому окрасу из-за обилия произрастающих на мелководье в рай-

оне экстрезии термофильных водорослей различного видового состава. Особый колорит ей также придает и оранжево-коричневый окрас взвеси в воде (Fe, Mn?).

Разгружающиеся в кальдерные озера термальные и поверхностные воды вулкана Ксудач относятся к различным типам вод. Для наглядного отображения все они вынесены на диаграммы основного солевого состава (рис. 3).

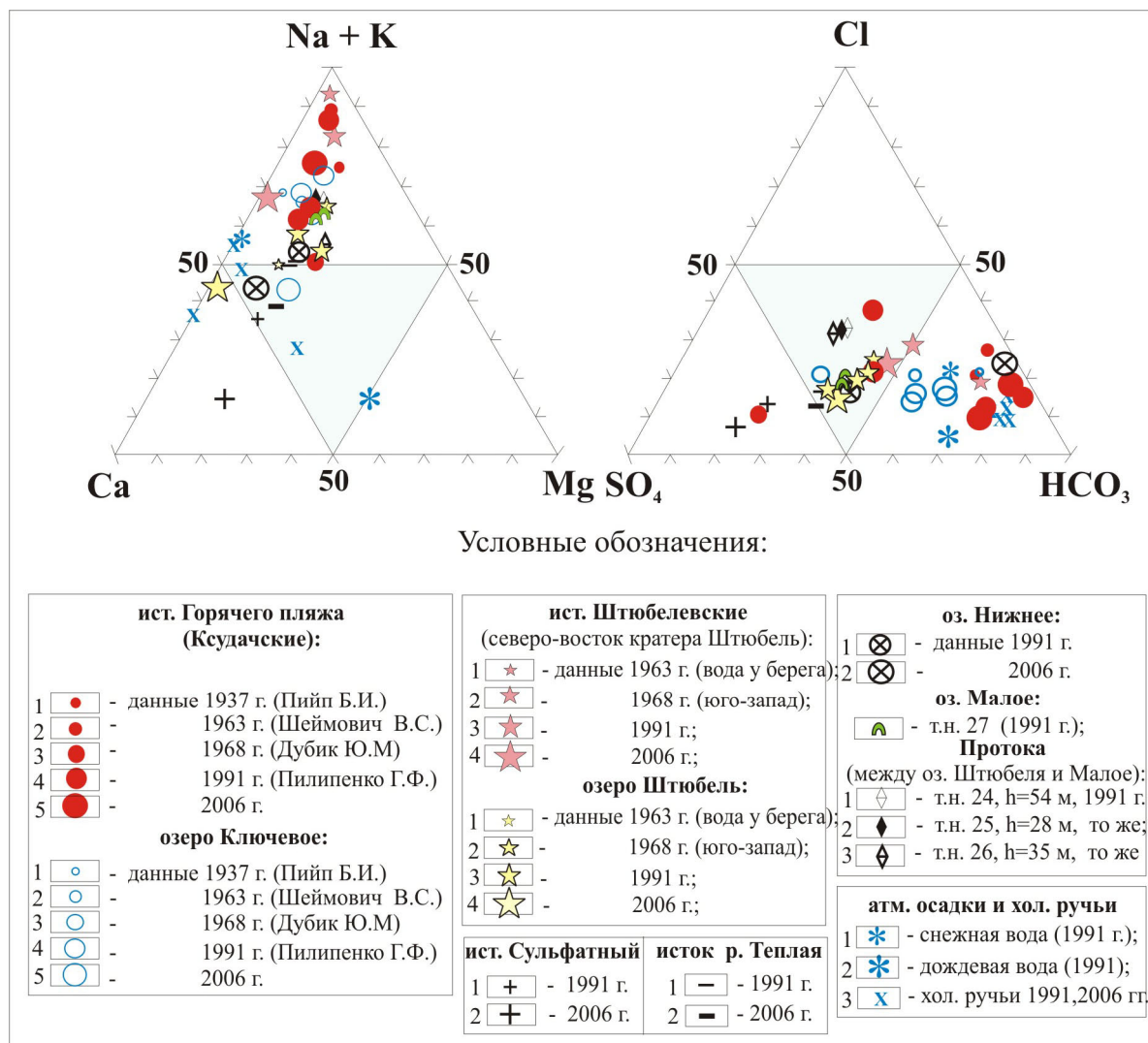


Рис. 3. Тройные диаграммы солевого состава термальных, озерных и поверхностных вод кальдеры вулкана Ксудач.

Как видно из диаграмм катионно-анионного состава преобладающее положение по типовому распространению вод в кальдере Ксудач занимают хлоридно-гидрокарбонатно-натриевые (Cl-HCO₃ – Na) воды.

К ним относятся низкоминерализованные (≥ 100 мг/л) пресные или слабощелочные (pH=7.0-7.4) воды холодных ручьев, разгружающихся в кальдерные озера и талые воды снежников с преобладанием в анионной части иона гидрокарбоната (HCO₃⁻), а также гидротермы Горячего пляжа. Последние из-за некоторых особенностей, выраженных в химическом составе и характере самой разгрузки можно подразделить на два подтипа. Первый из которых представлен известными издавна термальными источниками Ксудачскими, разгру-

жающимися в южной части Горячего пляжа, между ручьями Лагерным и Сухим – участок 2 (рис. 4).



*Рис. 4. Разгрузка Ксудацких гидротерм (Горячий пляж).
Фото А.А. Каргопольцева.*

Для них характерна рассредоточенная разгрузка горячей воды ($T_{\max} \sim 68^{\circ}\text{C}$) и существенно хлоридно-гидрокарбонатно натриевый состав ($\text{Cl-HCO}_3 - \text{Na}$) состав, с невысокой минерализацией (около 1000 мг/л) и слабощелочной реакцией ($\text{pH} = 7.6-8.2$). В составе спонтанного газа терм преобладает азот (80-90 об. %) [15]. В месте разгрузки терм наблюдается белое порошкообразное вещество (коллоидный SiO_2 ?), осаждающееся на термофильных водорослях и щебнистом материале.



*Рис. 5. Разгрузка Трещинных гидротерм (Горячий пляж).
Фото А.А. Каргопольцева.*

Ко второму подтипу относятся Трещинные термальные источники (участок 3 Горячего пляжа), разгружающиеся в береговой зоне бухты Теплая (рис. 5). Они представляют собой трещинные выходы вод из массивов андезитовых лав, резко обрывающихся к озеру Ключевое. Температура этих вод также находится в пределах $60-67^{\circ}\text{C}$, но, в отличие от вод первого подтипа, они имеют близкую к нейтральной или даже слабопониженную в сторону кислотности реакцию воды ($\text{pH} = 7.2-6.7$) и повышенные (в 1.3-1.5 раза) по сравнению с водами прежнего подтипа концентрациями ионов сульфата (SO_4^{2-}), магния (Mg^{2+}) и кальция (Ca^{2+}), вследствие чего они приобретает несколько иной состав - сульфатно-гидрокарбонатно натриево-кальциевый ($\text{SO}_4\text{-HCO}_3 - \text{Na}(\text{Ca})$). Непосредственно у трещин разгружающихся источ-

ников второго подтипа наблюдаются светло-желтые налеты серы. Здесь же обитают колонии термофильных водорослей, несколько иного, чем на участке 2, вида. Дно озера (бухта Теплая) в районе участка 3 прогрето, что позволяет судить о скрытой здесь разгрузке термальных вод.

Промежуточное положение среди остальных вод занимают смешанные воды хлоридно – сульфатно-гидрокарбонатно – кальциево-натриевого ($\text{Cl-SO}_4(\text{HCO}_3) - \text{Ca}(\text{Na})$) состава. К этому типу вод относятся: ист. Штюбельские, воды озер Нижнее, Малое, Штюбеля и реки Теплая, в ее истоках. Помимо этого к ним можно отнести термопроявления, разгружающиеся в южной оконечности кратера Штюбеля (источники Каменистые по названию ручья Каменистый). Разгрузка терм, длиной около 20-30 м, осуществляется здесь, в основном, скрытым путем из-под каменистых глыб (дебит воды не установлен). Со стороны озера она заметна по скоплению островков зеленых водорослей у берега, а также по слегка мутноватой воде (рис. 6). До 1991 г. в анионной части этих терм преобладали гидрокарбонат ионы, а после - стали немного возрастать ионы хлора. Ныне это низкоминерализованные (500 мг/л) слабощелочные ($\text{pH} = 7.8$) воды с невысокой температурой ($29-30^\circ\text{C}$) и хлоридно-гидрокарбонатно - натрий-кальциевым составом ($\text{Cl-HCO}_3 - \text{Na}(\text{Ca})$).



Рис. 6. Разгрузка гидротерм в районе ручья Каменистого (южная оконечность кратера Штюбеля). Фото А.А. Каргопольцева.

По характеру разгрузки, солевому составу и температурным значениям источники Каменистые похожи на Штюбельские источники, что позволяет говорить о их приуроченности к единой проницаемой зоне.

Наименее распространенный тип воды в кальдере Ксудач представлен источниками Сульфатными, в которых концентрация гидрокарбонат ионов (HCO_3^-) составляют незначительную долю. Вода этих источников слабокислая ($\text{pH} = 6.2$) с повышенными почти в 2 раза концентрациями ионов сульфатов и кальция (SO_4^{2-} , Ca^{2+}) по отношению таковых в озере Штюбеля.

Для выяснения степени разбавления термальных вод в кальдере вулкана Ксудач построена диаграмма смешения этих вод по соотношениям содержащихся в ней основных компонентов $\text{Na}+\text{K}$ и Cl (рис. 7).

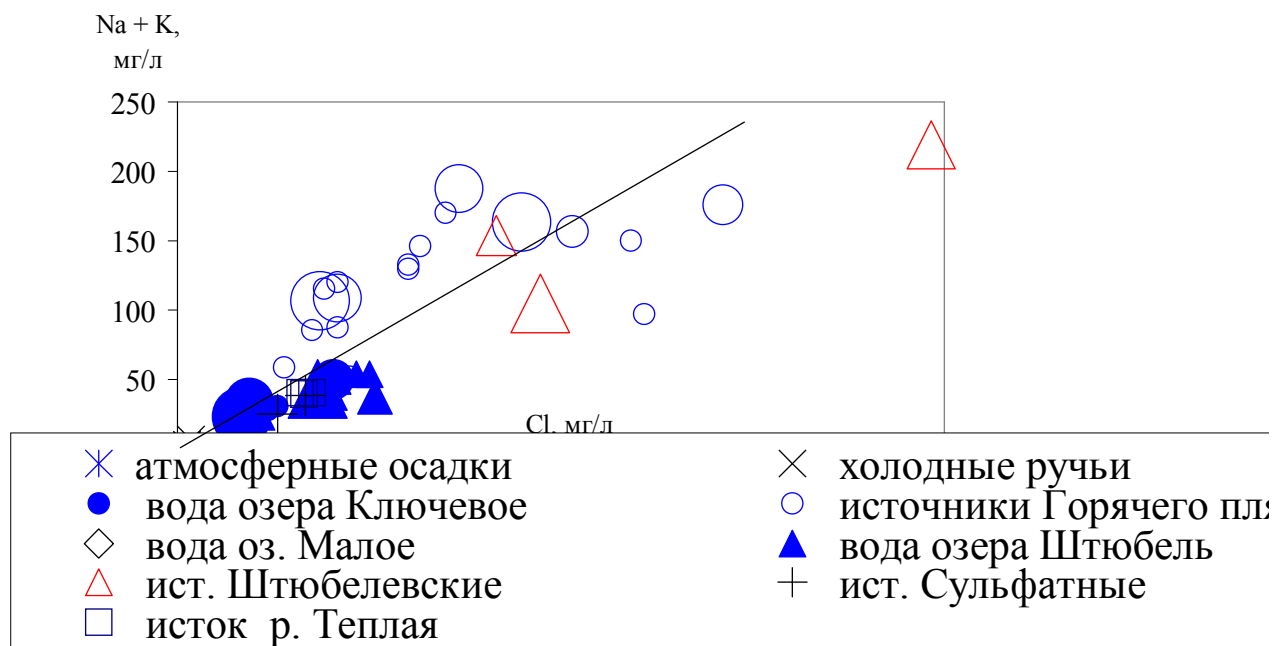


Рис. 7. Диаграмма смешения природных вод кальдеры вулкана Ксудач по соотношению $Na+K / Cl$

Как видно из диаграммы, преобладающее количество из наблюдаемых нами точек (озерная вода, исток р. Теплая), тяготеют к обычной зоне смешения вод. Небольшие отклонения от этой зоны фиксируются для донных вод кратерного озера Штюрбеля, а в более выраженном отношении - для источников Штюрбелевских (1968, 1991 гг.) и Горячего пляжа (1968 г.), что может свидетельствовать о присутствии в них определенной доли (20-25%) глубинной составляющей.

Все имеющиеся данные по гидрохимическому составу термальных, озерных и холодных вод, отобранных различными исследователями на протяжении 70-ти лет в кальдерной депрессии вулкана Ксудач в конечном счете сведены в таблицу. По имеющимся гидрохимическим данным за 1937-2006 гг. проведен сравнительный анализ, который показал, что:

- В процессе всего периода наблюдений пик газо-гидротермальной деятельности в гидротермах Горячего пляжа наблюдался в 1968 г. (рис. 8). Прежде всего это выразилось в возрастании в термальной воде, в сравнении с данными 1937 г., концентраций таких ионов как сульфатов, хлора и магния (SO_4^{2-} , Cl^- и Mg^{2+}) в 2-3 раза, затем гидрокарбонат ионов (HCO_3^-) - в 1.5 раза и ионов калия (K^+) - в 5 раз.

- На 2006 г. в источниках Сульфатных, расположенных в истоках левого борта р. Теплая (поблизости от кратера Штюрбеля) в сравнении с данными 1991 г. возросли почти в 2 раза концентрации ионов кальция и магния (Ca^{2+} и Mg^{2+}) и в 1.3 раза - сульфат ионов (SO_4^{2-}), но примерно на такую же величину снизились ионы хлора (Cl^-).

- В настоящее время газо-гидротермальных выходов в кратере Штюрбеля не наблюдается, за исключением источников Штюрбелевских. Но следы их деятельности, о которых упо-

**Таблица. Химический состав термальных, озерных и поверхностных вод кальдеры вулкана Ксудач
(по данным наблюдений за 1937–2006 гг.)**

Название источника	Дата отбора	Глу- бина, м	Т°С	рН	Химический состав: мг/л											Сумма
					NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	H ₃ BO ₃	H ₄ SiO ₄		
														р-р	кол.	
снежная вода	1991		5,0	5,7	-	0,3	0,5	0,4	0,0	1,4	1,0	6,1	1,2	0,1	н.о.	11,0
дождевая вода №2			-	5,6	-	0,6	0,5	2,0	1,7	0,7	4,8	15,2	1,2	0,2	н.о.	27,0
руч. 3, 3-п берег оз. Ключ.			10,0	6,3	-	0,5	0,5	1,2	0,0	0,7	1,0	9,8	1,2	1,6	н.о.	16,5
руч. 4 В-с берег оз. Ключ.			10,0	6,6	-	2,3	0,5	1,6	0,0	1,4	1,9	13,4	1,2	14,2	н.о.	37,0
руч. Пемзовый	2006		4,0	7,1	0,1	5,8	0,6	8,0	3,2	2,1	2,9	30,5	5,6	34,5	10,2	103,7
руч. Куропачий	2006		3,9	6,6	0,1	2,5	0,4	2,2	0,1	1,4	0,1	11,0	0,1	26,0	18,0	61,9
ист.	1937		62,0	6,6	-	150,4		17,6	14,6	71,0	30,7	366,0	-	н.о.	н.о.	650,3
Гор. пляжа оз. Ключевое	1963		70,0	8,2	-	156,3		9,4	4,0	61,8	12,0	272,1	-	48,0		515,6
	1968			7,3	0,5	164,6	11,0	85,0	36,9	81,0	418,7	216,0	-	н.о.	н.о.	1018,0
	1991		21,0	8,4	-	52,0	6,3	8,4	2,6	16,7	16,0	128,0	8,0	48,0	н.о.	286,0
		35,0	7,9	-	78,0	9,3	4,4	1,7	25,0	8,6	190,0	7,4	108,0	н.о.	432,0	
		48,0	7,5	-	121,0	11,5	4,4	1,5	36,0	16,0	256,0	12,4	112,0	н.о.	571,0	
		50,0	7,4	-	118,0	11,5	4,0	1,5	36,0	16,0	256,0	11,1	192,0	н.о.	648,0	
		55,0	7,8	-	156,0	14,5	8,8	2,9	42,0	13,4	360,0	12,4	182,0	н.о.	792,0	
		№ 11 тах	1991	68,0	7,1	-	168,0	19,5	13,2	6,1	44,0	11,5	418,0	13,6	179,0	н.о.
№ 11 тах	2006		64,5	7,6	0,1	154,1	9,6	28,1	8,3	53,9	15,4	369,8	7,9	160,0	245,0	1052,0
№ 12	1991		42,0	7,0	-	133,0	13,3	14,0	8,3	38,0	22,0	338,0	12,4	170,0	н.о.	749,0
			41,8	7,1	-	104,0	11,2	18,4	10,7	23,0	44,0	308,0	7,4	125,0	н.о.	652,0
№ 14 ист. Трещинный	2006		64,8	6,8	-	98,0	10,8	20,0	10,2	25,0	48,0	306,0	12,4	170,0	н.о.	700,4
№ 14 ист. Трещинный			65,0	7,4	0,1	100,0	7,0	40,1	15,8	22,3	61,5	319,7	7,9	160,0	245,0	979,4
№ 15 ист. Гротовый	1991		65,5	6,7	-	77,0	8,6	25,0	9,0	21,0	62,0	240,0	8,6	131,0	н.о.	582,0
№ 16 закопушка			64,0	8,2	-	110,0	10,4	30,0	11,2	25,0	62,0	284,0	6,2	118,0	н.о.	659,0
№ 17 уч. Каменистый			42,0	7,3	-	46,0	5,5	14,8	4,4	27,0	62,0	99,0	7,4	58,0	н.о.	308,0
№ 18 уч. Каменистый			43,0	7,8	-	88,0	9,0	38,0	6,8	73,0	62,0	121,0	24,7	84,0	н.о.	568,0
Вода из озера Ключевое	1937	0	7,0	7,0	-	28,1		10,0	0,6	14,2	7,7	73,2	-	н.о.	н.о.	133,8
	1963	0		7,4	0,4	30,4		8,6	2,8	15,6	24,0	63,4	21,0	н.о.	н.о.	144,8
	1968	0	11,0	7,2	0,8	45,5	4,1	20,5	7,4	24,4	84,0	83,0	-	н.о.	н.о.	269,4
	1991	0	17,0	7,7	-	30,0	3,5	7,2	2,4	11,3	20,0	73,0	1,2	25,0	н.о.	173,6
0		15,1	7,4	-	24,0	2,1	7,6	1,7	9,2	23,0	54,0	1,4	45,0	н.о.	168,0	
10		9,0	7,5	-	24,0	2,1	7,6	1,7	9,2	23,0	54,0	1,4	45,0	н.о.	168,0	
20		5,8	7,6	-	24,0	2,1	7,6	1,7	9,2	23,0	54,0	1,4	45,0	н.о.	168,0	
40		4,3	7,6	-	24,0	2,1	7,6	1,7	9,2	23,0	54,0	1,4	45,0	н.о.	168,0	
60		4,2	7,4	-	24,0	2,1	7,6	1,7	9,2	23,0	54,0	1,4	45,0	н.о.	168,0	
82		4,0	7,8	-	25,0	2,1	8,0	1,8	9,2	27,0	55,0	1,4	49,0	н.о.	178,0	
район т.н. 21	2006	0	16,2	7,4	0,1	22,3	1,2	18,0	6,1	9,9	14,4	54,9	1,1	17,5	29,5	175,1

Продолжение таблицы

оз. Нижнее, т.н. 28	1991	0	-	7,5	-	37,0	3,4	18,4	6,1	19,0	65,0	79,0	6,8	65,0	н.о.	300,0
оз. Нижнее	2006	0	14,0	7,2	0,1	36,8	2,4	36,1	6,7	18,4	5,8	91,5	14,5	60,0	28,0	300,3
Вода из озера Штюбель	1963	0		7,6	0,3	37,7		22,2	6,3	30,9	50,0	82,9	25,0	н.о.	н.о.	230,1
	1968			7,1	0,2	25,7	2,5	6,9	2,9	12,2	30,5	50,0	-	н.о.	н.о.	130,9
т.н. 22	1991	0	16,0	7,9	7,9	40,0	3,2	18,4	7,2	22,0	69,0	78,0	6,8	65,0	н.о.	310,0
		10	9,0	7,6	-	38,0	3,1	18,0	6,7	21,0	69,0	77,0	6,8	65,0	н.о.	30,5
		20	6,4	7,4	-	40,0	3,3	19,0	6,7	21,0	77,0	82,0	6,8	67,0	н.о.	323,0
		40	6,6	6,9	-	45,0	3,9	22,0	7,9	25,0	85,0	97,0	6,8	77,0	н.о.	370,0
		60	6,8	6,8	-	50,0	4,2	25,0	8,5	28,0	85,0	105,0	7,5	81,0	н.о.	394,0
т.н. 23	2006	75	7,2	7,1	-	50,0	4,2	24,0	8,5	30,0	85,0	105,0	7,5	82,0	н.о.	396,0
		0	16,0	7,5	0,1	41,1	1,8	50,1	1,2	22,0	76,9	96,4	5,6	34,5	10,5	340,2
т.н. 24 оз. протока	1991	76	-	8,0	-	72,0	4,4	24,0	10,5	62,0	85,0	106,0	6,8	74,0	н.о.	445,0
	1991	54	-	7,7		72,0	5,3	23,0	10,2	62,0	82,0	106,0	6,2	74,0	н.о.	441,0
ист. Штюбельские ю-з	1968		58,0	7,9	1,8	138,3	15,5	5,8	3,1	49,9	31,3	314,8	-	н.о.	н.о.	461,2
№ 19 (р-н экстрезии)	1991		37,0	6,1	-	198,0	21,1	17,2	14,3	118,0	115,0	348,0	37,3	142,0	н.о.	1011,0
№ 19 (р-н экстрезии)	2006		27,0	7,4	0,1	97,0	7,4	40,1	1,0	56,7	92,2	177,0	14,5	60,0	28,0	573,1
т.н. 25 оз. протока	1991	28	-	7,8	-	69,0	4,7	20,0	8,5	59,0	72,0	96,0	7,4	65,0	н.о.	402,0
т.н. 26 тах Н, оз. Малое-2	1991	35	-	7,7	-	71,0	5,0	22,0	9,2	60,0	92,0	98,0	6,2	72,0	н.о.	436,0
т.н. 27 ц-н оз. Малое-2		0	15,0	7,6	-	40,0	4,2	18,8	6,6	23,0	60,0	78,0	4,9	69,0	н.о.	304,0
т.н. 27 ц-н оз. Малое-2		22	-	7,8	-	41,0	4,4	18,8	7,8	23,0	66,0	85,0	2,5	62,0	н.о.	310,0
р. Теплая (№ 29)	1991		13,5	6,7	-	37,0	3,2	22,0	7,1	21,0	79,0	75,0	6,8	64,0	н.о.	315,1
то же	2006		16,5	7,4	0,1	38,6	2,1	36,1	10,9	19,1	98,0	91,5	4,6	28,0	10,0	339,0
ист. Сульфатный-20	1991		5,0	7,9	-	35,0	3,8	45,0	8,5	20,0	140,0	70,0	6,8	65,0	н.о.	394,1
	2006		6,0	6,8	0,1	23,4	1,6	90,2	15,8	15,6	192,1	76,9	4,6	34,0	33,5	487,7

Примечание: «-» – нет данных; «н.о.» – не определялось. Приводимые в таблице данные по макроэлементному составу взяты из статей: за 1937 г. – [14]; 1963 г.– [17]; 1968 г. – [4]; 1991 г. – [15]; 2006 г. – новые данные. Аналитик: О.В. Шульга (ЦХЛ ИВиС ДВО РАН)

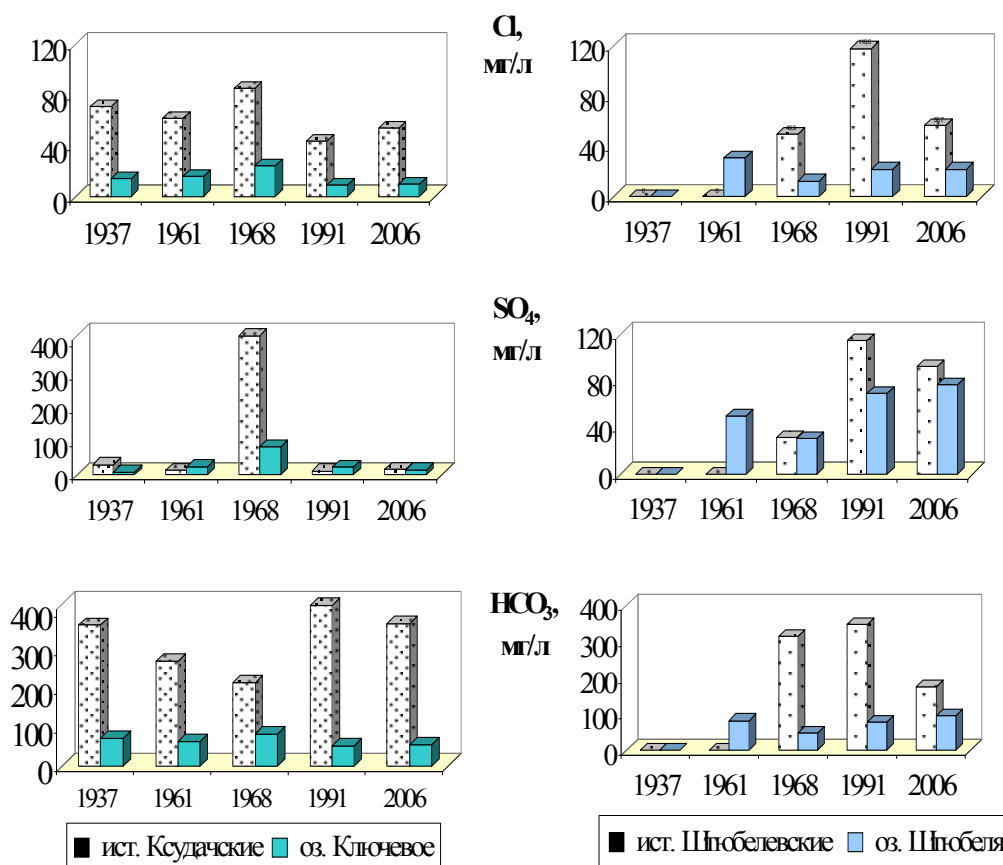


Рис. 8. Изменение анионного состава в термальных и озерных водах кальдеры вулкана Ксудач по данным наблюдений за 1937-2006 гг.

минали в своей работе Ю.М. Дубик и И.А. Меняйлов, все еще заметны в юго-восточных и юго-западных внутренних бортах кратера по ярко выраженным гидротермально-измененным породам и фрагментам фумарольных трубок [4]. Газо-гидротермальная деятельность данного района приурочена, в основном, к термовыводящим трещинам, образовавшимся в процессе катастрофического извержения конуса Штюбеля в марте 1907 г. [15].

- При обследовании в 2006 г. Штюбелевских источников, выяснилось, что в них по сравнению с 1991 г., понизилась в среднем на 7-10°С температура воды и в 1.7 раза уменьшилась ее минерализация. Состав катионной части воды остался прежним кальциево-натриевым (Ca^{2+} - Na^{+}), но только в сравнении с данными 1991 г. возросли почти в 2 раза концентрации ионов кальция (Ca^{2+}).

- В анионной части, после преобладающей позиции в воде гидрокарбонат иона (HCO_3^-), вторыми по рангу стали ионы сульфатов (SO_4^{2-}), вместо таковых хлора (Cl^-), как это было в 1991 г.

- В поверхностной воде кратерного оз. Штюбеля наметилась тенденция к медленному возрастанию концентраций ионов сульфата (SO_4^{2-}). Так на 2006 г. они возросли в 3 раза, по сравнению с таковыми в 1968 г., и в 1.2 раза – с 1991 г., а ионов кальция (Ca^{2+}) – в том же порядке, но только в 10 и 2.5 раз.

В подтверждение возрастания ионов сульфатов во времени в поверхностной воде озера Штюбеля, были построены гистограммы по соотношению в ней основных элементов - S/Cl (рис. 9). На рисунке видно постепенное возрастание в озерной воде серы. Причиной такого явления являются по-видимому флюидные потоки, поднимающиеся со дна озера.

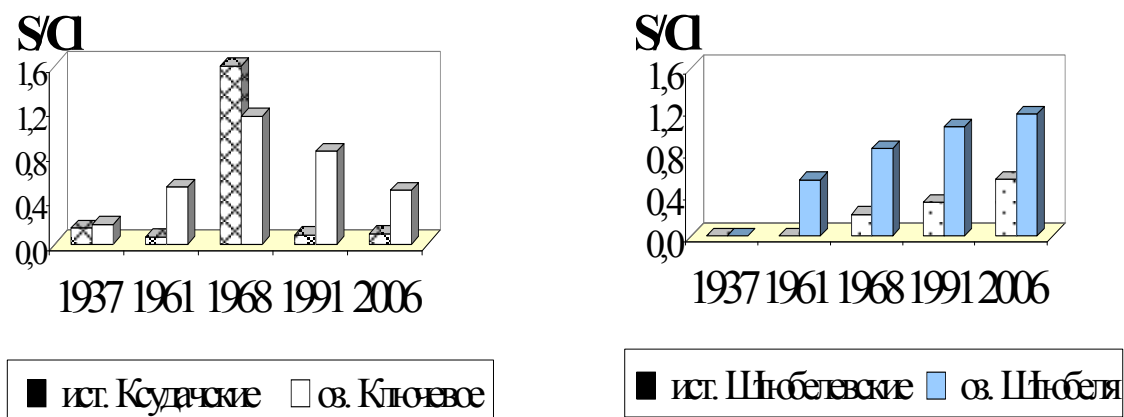


Рис. 9. Соотношение S/Cl в термальных и озерных водах кальдеры вулкана Ксудач по данным наблюдений за 1937-2006 гг.

Подобная вышеописанной ситуация в отношении постепенного и незначительного возрастания концентраций в озерной воде концентраций серы, кальция, кремнекислоты, а также бора и наоборот – снижении концентраций гидрокарбонат ионов (HCO_3^-), уже отмечалась при наблюдениях за солевым составом в кальдерном озере Карымское, за несколько лет до подводного извержения в нем в 1996 г.

При проведении эхолотирования сотрудниками КамчатНИРО в водной толще кратерного оз. Штюбеля (1991 г.) была зафиксирована биофизическая неоднородность (рис. 10). В дальнейшем она интерпретировалась как плюмы флюидопроявлений в виде газовых струй, просачивающихся со дна [12].

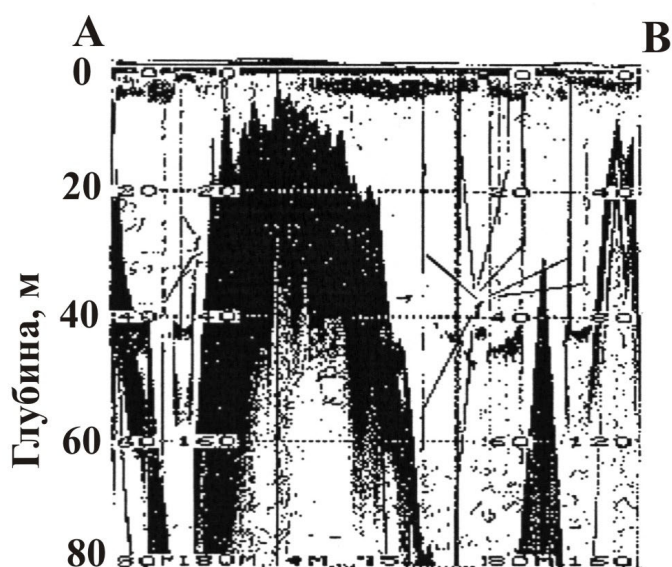


Рис. 10. Гидроакустический профиль А-В с плюмами газовых струй со дна кратерного озера Штюбеля (Эхограмма записи сделана сотрудниками КамчатНИРО при помощи эхолота «FE-6200», 1991 г.).

В некоторых из таких струй, выходящих на поверхность в южной части озера Штюбеля, а также в районе разгрузки одноименных ему терм, разгружающихся на берегу у подножия экструзии, установлены повышенные концентрации таких газовых компонентов как N_2 , CO_2 , He, CH_4 и УВГ (этан, этилен, пропилен) [15].

Для расчета гидрогеохимического баланса озерной системы кальдеры Ксудач, предполагалось определить количество и качество привносимых в кальдеру и выносимых из нее химических компонентов. Но, в связи с отсутствием технических возможностей для отбора водных проб по вертикальному разрезу водной толщи озер, выполнить поставленную задачу удалось лишь частично. Так был установлен лишь качественный состав привносимых в озера термальными водами различных химических элементов и определен масштаб их выноса из кальдеры посредством единственно вытекающей из нее реки Теплая.

Среди всей выборки данных по микроэлементному составу из термальных, озерных и поверхностных вод кальдеры были отобраны наиболее значимые в них концентрации и для наглядности построены гистограммы распределения (рис. 11). За местный геохимический фон взят микроэлементный состав холодного ручья Пемзовый, впадающего в озеро Ключевое с юго-востока. Помимо этого для сравнения полученных данных по микроэлементному составу были взяты данные по морской воде и дождевой, последняя была отобрана в другой кальдере Камчатки (Академия Наук, Восточная Камчатка).

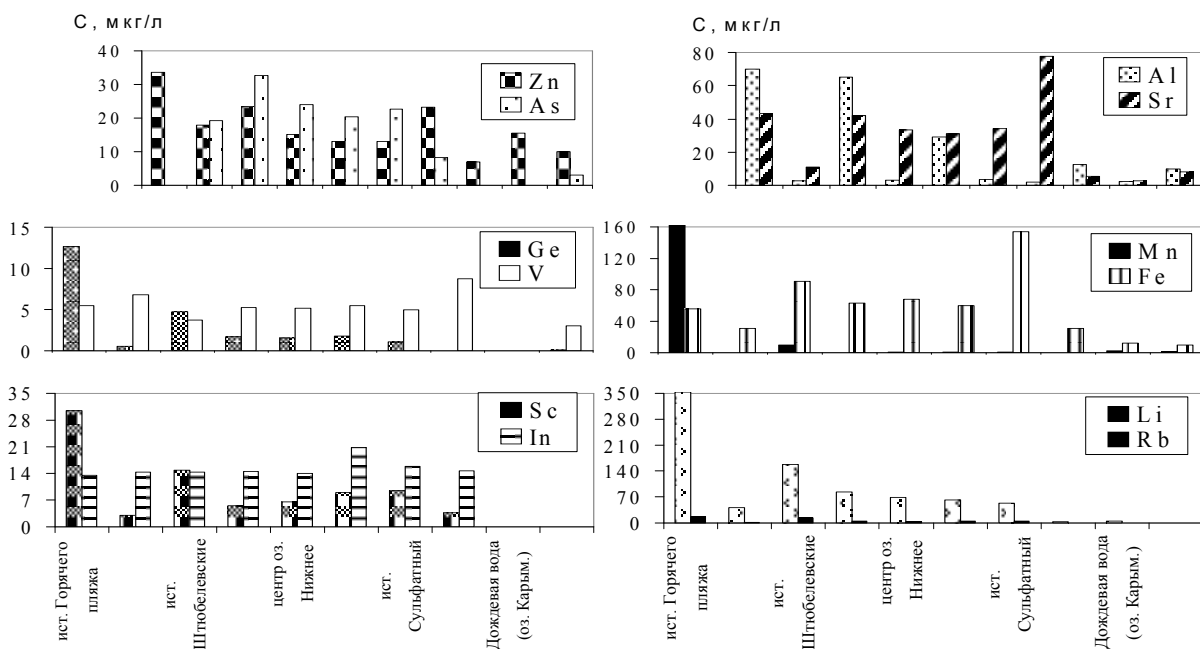


Рис. 11. Гистограммы концентраций микроэлементов в природных водах кальдеры вулкана Ксудач (2006 г.).

Как видно из гистограмм, значимый привнос минерального вещества в кальдерные озера вулкана Ксудач осуществляется гидротермами Горячего пляжа и Штюбельскими, а также донными разгрузками кратерного озера Штюбеля и источниками Сульфатными.

Среди всего спектра микроэлементов максимальные концентрации таких компонентов как Mn и Li, превышающие фоновые в 300 и более раз, затем Al, Sr, Zn, Sc – в 30 раз, и Ge, Rb – в 10 раз установлены для гидротерм Горячего пляжа. По другим микроэлементам, таким как Fe и Sr приоритетное значение (выше фонового в 2-3 раза) принадлежит источникам Сульфатным, а по V – ручью Пемзовому.

Казалось бы поверхностная вода оз. Штюбеля имеет не слишком высокие концентрации химических компонентов на фоне всех известных в кальдере гидротерм, но учитывая привнос (не известный пока нам по объему) флюидного потока со дна озера и его рассеивание в большой массе озерных вод, она имеет важное гидрохимическое значение, например по таким компонентам как сера, кремний, кальций, железо, литий, стронций, мышьяк, скандий и др.

Помимо этого, по данным С.М. Фазлуллина, существенно обогащены микроэлементами, такими как Fe, As и Hg донные осадки озера Штюбеля такими микроэлементами, как Fe, As и Hg, значительная часть которых, по-видимому, привносится донными флюидными потоками [15].

Для выяснения среднегодового масштаба выноса химического вещества из кальдеры вулкана Ксудач, единственно вытекающей из нее рекой Теплая, в 2006 г. отбирались пробы воды в истоках этой реки и замерялся расход ее воды. В результате обработки данных установлено, что за год из кальдеры вулкана Ксудач при расходе воды равном $4.2 \text{ м}^3/\text{сек}$ и ее минерализации около 300 мг/л, выносятся в среднем почти 45 000 тонн различных минеральных веществ, из которых 44 771 тонн/год приходится на макроэлементы: SO_4^{2-} , HCO_3^- , Na^+ , Ca^{2+} , H_4SiO_4 , затем 35.5 тонн/год на микроэlementы: Li, Fe, Sr, As, In, Zn, Sc, V, Mn, Ge и др., а оставшаяся часть - на взвесь и биокomпоненты (рис. 12).

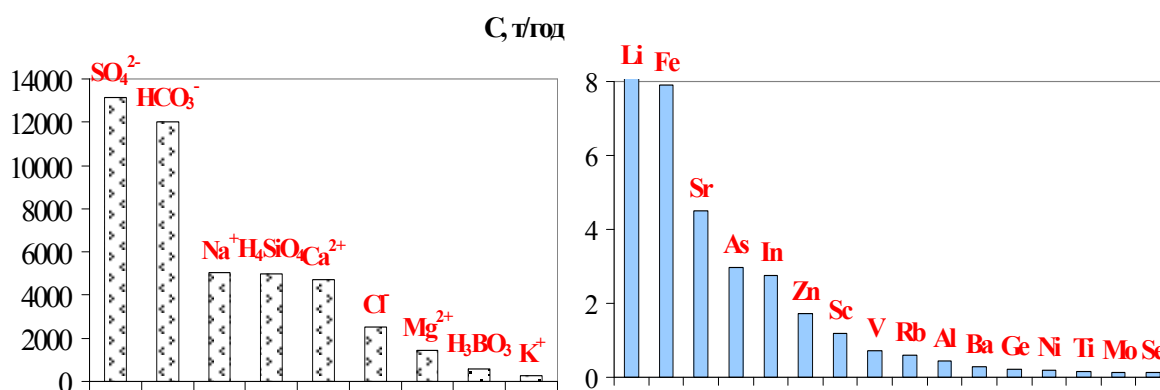


Рис. 12. Вынос макро-, микроэлементов р. Теплая в среднем за год (кальдера вулкана Ксудач, 2006 г.).

Температурный профиль $A_1 - B_1$. Пройденный в 2006 г. температурный профиль $A_1 - B_1$ вдоль всей береговой зоны Горячего пляжа, в основном повторяет профиль А – В, выполненный Г.Ф. Пилипенко и А.А. Разиной в 1991 г. Основной целью прохождения про-

филя было выяснение изменения температурной кривой, определение участков в пляжной зоне с максимальными и минимальными температурами и границ возможной миграции температурного поля.

Для сравнения изменения температурных кривых (за 1991 и 2006 гг.) был использован составленный выше указанными авторами в 1991 г. схематический план очага разгрузки гидротерм на западном берегу оз. Ключевое с подрисуночными подписями к нему [15].

На первый взгляд кривые температурных значений (выделенных жирным шрифтом на рисунке 13) мало, чем отличаются между собой, но все же некоторые различия имеются. Так, в среднем на 5°C увеличилась температура в группе разгрузки Трещинных источников, разгружающиеся в бухту Теплая и в устье ручья Сухого, практически безводного на момент измерений температуры, за исключением скрытой разгрузки в озеро. Некоторые из группы Трещинных источников на момент проведения температурного профиля в 2006 г. практически прекратили свою деятельность (источник Гротовый), но появились новые малодобитные источники с $T \geq 60^{\circ}\text{C}$, в районах выхода которых наблюдались светло-желтые возгоны серы.

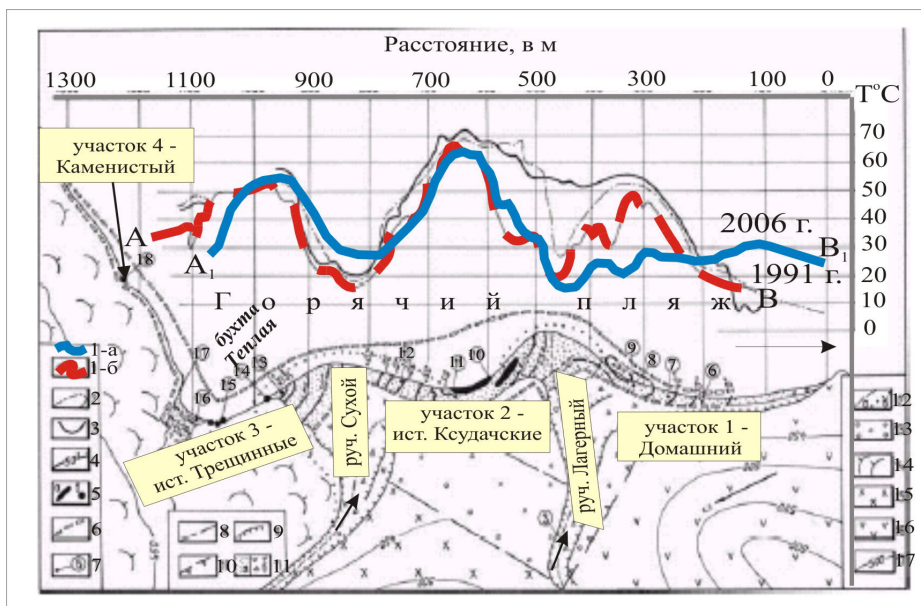


Рис. 13. Кривые температурных изменений по профилям А-В (1991 г.) и А₁-В₁ (2006 г.) (За основу из статьи [15] взяты схематический план, температурные характеристики очага разгрузки гидротерм на северо-западном берегу оз. Ключевое и подрисуночные подписи к ним с добавлением новых за 2006 г.).

На участке 2 Горячего пляжа, протяженностью около 200-250 м и характеризующегося местом разгрузки терм с $T=30-65^{\circ}\text{C}$, наблюдается все тот же несколько пилообразный как и в 1991 г. характер температурных значений, что возможно говорит о своеобразном режиме расположенного здесь температурного поля (см. рис. 5).

На этом же участке основной поток горячих термальных вод, скорей всего из-под первой надпойменной террасы, примыкающей с запада к экструзивному куполу «Парящий утес», контролируется парящей полосой, особенно заметной в пасмурный день, обитанием термофильных водорослей и осаждением на субстрате коллоидного кремнезема.

К югу от участка 2, в закопушках устья руч. Лагерного, температура воды понизилась в среднем на 10°C , причиной чему является разбавления разгружающихся здесь термальных вод холодными, но затем постепенно увеличилась до 30°C и вплоть до экструзии Домашняя практически не снижалась ниже 20°C , чего в 1991 г. не отмечалось.

В результате, можно сказать, что в береговой зоне Горячего пляжа, где близко к поверхности подходит термоаномалия, происходят обычные пульсации температуры, а также незначительная миграция в южном направлении температурного поля (см. рис. 13).

Перед подведением итогов проведенных исследований следует привести краткие сведения о встречаемости в 2006 г. небольших скоплений погибшей озерной рыбы – кокани, плавающей как на поверхности северо-восточной части озера Ключевое, так и в его береговой зоне. То же самое явление, но месяцем позже, наблюдалось сотрудниками КамчатНИРО, проводивших исследования по численности обитания рыбы в кальдерных озерах Камчатки, в том числе и на Ксудаче. Причина частичной гибели озерной рыбы пока не установлена, но предположительно она связана с периодическим выбросом CO_2 со дна озера Ключевое или с нехваткой кормовой базы для особей.

Собранные в единую таблицу гидрогеохимические данные (с 1937 по 2006 гг.) по термоявлениям кальдеры вулкана Ксудач, могут использоваться в дальнейшем для сравнения с последующими данными наблюдений за гидротермальной деятельностью этого вулкана.

ВЫВОДЫ

В период наблюдений (1937-2006 гг.) за газо-гидротермальной деятельностью кальдеры вулкана Ксудач существенных изменений не произошло. Определенные типы вод в кальдере остались без изменений. Превалирующую позицию по распространенности типов вод в кальдере занимают хлоридно-гидрокарбонатно натриевые воды ($\text{Cl} - \text{HCO}_3 - \text{Na}$), затем идут воды смешанного состава: хлоридно(сульфатно) гидрокарбонатно – натриевые (кальциевые) $\text{SO}_4(\text{Cl})-\text{HCO}_3 - \text{Na}(\text{Ca})$ и наименее распространенными являются сульфатно – кальциевые ($\text{SO}_4 - \text{Ca}$) воды.

Но все же в газо-гидротермальной деятельности вулкана Ксудач на протяжении всего наблюдаемого периода, отмечались некоторые немаловажные события, о которых и следует упомянуть:

- Так в 1968 г., вулканологами Ю.М. Дубиком и И.А. Меняйловым, наблюдались периодические выделения со дна юго-восточной части кратерного озера Штюбеля струй газа, а в южной стенке этого же кратера (почти на уровне озера) выходы термальных вод хлоридно-гидрокарбонатно – натриевого состава ($\text{Cl}-\text{HCO}_3 - \text{Na}$), а также фрагменты полуразрушенных трубок фумарол. Затем, в отобранных ими водных пробах из гидротерм Горячего пляжа

и оз. Ключевое, в сравнении с 1937 г., фиксировалась также повышенная ~ в 2 раза относительно первого объекта и в 1.5 – второго, минерализация воды [4].

- Помимо этого в 1973 г. другими исследователями (И.Т. Кирсановым, Е.А. Вакиным) отмечались выходы термальных вод в береговой зоне южной оконечности конуса Штюбеля [5].

- В 1991 г., при выполнении С.М. Фазлуллиным и др., вертикального гидрохимического разреза водной толщи в центральной части оз. Штюбеля (т.н. 22), было зафиксировано увеличение ко дну температуры воды почти на 0.4°C и помимо этого минерализации воды – в 1.3 раза [15].

- К 2006 г., в поверхностной воде озера Штюбеля, наметилась тенденция к возрастанию концентраций таких компонентов как HCO_3^- и SO_4^{2-} - в 2-2.5 раза, в сравнении с 1968 г., затем Ca^{2+} – в 7 раз, а в сравнении с 1991 г. соответственно в 1.2 раза - относительно первых компонентов и в 2.5 – вторых. Причиной чему, по-видимому, являются поступающие со дна кратерного озера флюидные потоки. Подтверждением донных разгрузок в кратерном озере Штюбеля, являются повышенные (в разы, на порядок, а некоторых случаях - на два порядка относительно местного фона) в поверхностной воде озера микроколичества следующих элементов: Li, Fe, As, Sr, Zn, Cu, Ni, Zr, Sb, In, Cs, W, Re и др.

- Наибольшее количество привносимых минеральных веществ в озера кальдеры Ксудач, связано с гидротермами, менее - с обычным химическим выветриванием. Среднегодовое количество выноса вещества из кальдеры посредством реки Теплая – составляет около 45 000 тонн, из которых макроэлементы, такие как: SO_4^{2-} , HCO_3^- , Na^+ , Ca^{2+} , H_4SiO_4 и др. составляют – 44 771 тонн/год, микроэлементы: Li, Fe, Sr, As, In, Zn, Sc, V, Mn, Ge – 35.5 тонн/год, а оставшаяся часть приходится на взвесь и биоконпоненты.

Выражаю искренние благодарности: Директору природного парка «Южно-Камчатский» А.А. Каргопольцеву и его заместителю А.В. Королеву - за предоставленную возможность и техническую помощь в проведении полевых работ внутри кальдеры вулкана Ксудач, Н. Кирюхиной - за практическую помощь в сборе полевых материалов, а также к. г.-м. н. А.Ю. Бычкову и н. с. О.В. Шульге за проведение аналитических работ по определению макро- и микроэлементного состава в водных пробах, отобранных в кальдере вулкана в 2006 г.

Особую признательность хочу выразить своему научному руководителю д.г.-м.н. Г.А. Карпову за ценные замечания в процессе подготовки статьи к изданию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влодавец В.И. Справочник по вулканологии. Изд. Наука. 1984. С. 34-35.

2. Гущенко И.И. Ксудач //Извержение вулканов мира (каталог). М., 1979. С. 26.
3. Дитмар К.Н. Поездка и пребывание на Камчатке в 1851-55 гг. Исторический очерк по путевым дневникам. Пер. с нем. СПб., 1901. 156 с. с картами.
4. Дубик Ю.М., Меньяйлов И.А. Газогидротермальная деятельность кальдеры Ксудач // Бюл. вулканол. станций. 1971. № 47. С. 40-43.
5. Кирсанов И.Т., Хренов А.П., Вакин Е.А. Действующие вулканы Камчатки и Курильских островов в 1973 г. // Бюл. Вулканол. Ст. М., 1975. № 51. С. 3-18.
6. Келль Н.Г. Карта вулканов Камчатки / Объяснительный текст с табл., чертежами, снимками и карта / на двух листах/ М 1:750000. Л.: Изд. Русского географического общества, 1928. 73 с.
7. Кожемяка Н.Н. Морфогенетические типы вулканов / Долгоживущий центр эндогенной активности Южной Камчатки. Изд. Наука, 1980. 171 с.
8. Кожемяка Н.Н. Роль долгоживущих центров в выносе глубинного вещества и формировании структуры Южной Камчатки / Долгоживущий центр эндогенной активности Южной Камчатки. Изд. Наука, 1980. 171 с.
9. Масуренков Ю.П. Вулканизм – индикатор эндогенного режима / Вулканы над интрузиями. Изд. Наука, 1979. 217 с.
10. Масуренков Ю.П. Локальные ассоциации вулканов и вулcano-тектонические структуры как генетические центры вулканизма / Вулканы над интрузиями. Изд. Наука, 1979. 217 с.
11. Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Пономарева В.В., Сулержицкий Л.Д. Катастрофические кальдерообразующие извержения вулкана Ксудач в голоцене // Вулканология и сейсмология. 1995. № 4-5. С. 28-53.
12. Николаев А.С. Реестр эхолотных записей биофизических неоднородностей вод в озерах Камчатки // Исследования биологии и динамики численности промысловых рыб камчатского шельфа. Петропавловск - Камчатский. Вып. 4. 1995. С. 12-15.
13. Новограбленов П.Г. Каталог вулканов Камчатки / Известия географического общества. Т. LXIII, Вып. 5-6. С. 144.
14. Пийп Б.И. Маршрутные геологические наблюдения на юге Камчатки // Тр. Камчатской вулканол. станции. 1947. Вып. 3. С. 89-134.
15. Пилипенко Г.Ф., Разина А.А., Фазлуллин С.М. Гидротермы кальдеры вулкана Ксудач // Вулканол. и сейсм., 2001, № 6, с. 43-57.
16. Селянгин О.Б. Геологическое строение и эволюция кальдерного комплекса вулкана Ксудач // Вулканология и сейсмология. 1987. № 5. С. 16-27.
17. Шеймович В.С. Вулкан Ксудач в августе 1963 г. // Бюл. вулканол. станций. 1966. № 41. С. 25-28.