

УДК 551.214

ЭВОЛЮЦИЯ СОЛЕВОГО СОСТАВА ВОДЫ ТЕРМАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ И КАРЫМСКОГО ОЗЕРА ПОСЛЕ ИЗВЕРЖЕНИЯ 1996 г.

А.Г. Николаева, Г.А. Карпов, Е.Г. Лупкина, С.В. Ушаков

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006.

Кальдерное озеро Карымское вызывает практический интерес с точки зрения наблюдений за восстановлением биоты и последствий фреато-магматического извержения в нем в 1996 г. По оценке специалистов это было непродолжительное по времени, но вместе с тем крайне интенсивное по выносу тепла и вещества событие [7].

Озеро до катастрофического события известно было своей удивительной природой в

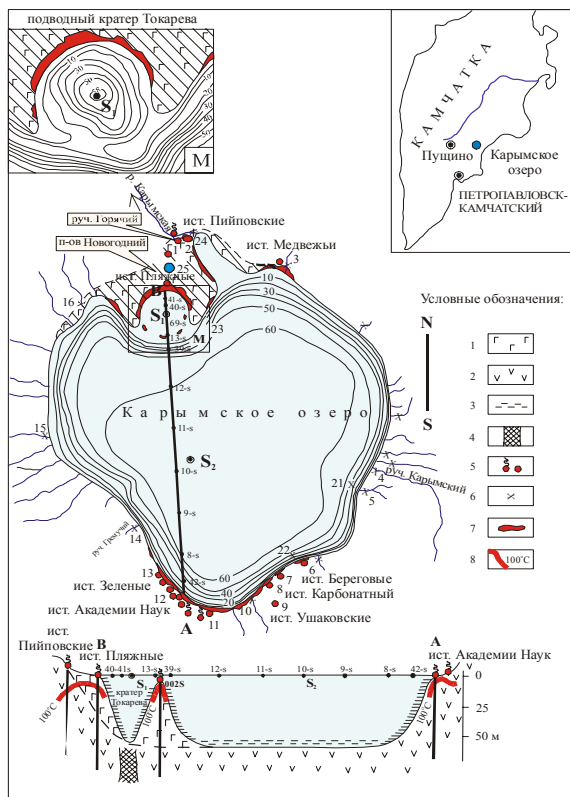


Рис. 1. Схема озера Карымского в кальдере Академии Наук и новообразованного кратера Токарева в северном секторе озера

Подписи к условным обозначениям:

- | | | |
|----------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| 1 - базальты; | 3 - иловые осадки; | 5 - термальные источники; |
| 2 - андезиты; | 4 - зона разуплотнения; | 6 - точки опробования ручьев; |
| 7 - разгрузка горячих вод; | 8 - изотермы | |

его окрестностях и пресной водой, с водившейся в нем лососевой рыбой-коканью [6,9]. Подводное извержение в северной части озера привело к кардинальным изменениям химического состава воды ($pH=3.2$) и исчезновению биоты [10]. Сама природа предоставила возможность наблюдать за процессом восстановления окружающей среды после катастрофы в 1996 г.

В данной статье представлены предварительные результаты изучения эволюции основного солевого состава как озерных, так и термальных вод бассейна оз. Карымское.

Общая характеристика термальных источников

Теплые и горячие термальные источники сосредоточены, в основном, в северной и юго-восточной береговой зоне озера (рис. 1).

Издавна известными среди них являются источники Академии Наук щелочного, азотно-углекислого состава [3].

Позже, при обследовании озера в его северо-восточном секторе в 1984 г., были встречены теплые источники Медвежьи, отличающиеся от источников Академии Наук значительно меньшей температурой, минерализацией и щелочностью [8].

При проведении в окрестностях озера гидрогеологической съемки масштаба 1:200 000 в начале 90-х годов прошлого века были также обнаружены теплые источники в юго-восточном побережье озера, тяготеющие к известным уже источникам Академии Наук: два щелочного состава и один кислого*.

После подводного извержения 1996 г. появились новые группы термопроявлений: на новообразованном п-ове Новогоднем Пийповские, Пляжные горячие источники в северном секторе озера и Береговые, Ушаковские в юго-восточном. Особенно ярко проявила себя юго-западная группа источников Академии Наук, где возникли многочисленные грязевые котлы с кипящей водой и новый гейзер Академический. В юго-восточной их группе образовались небольшие источники с пульсирующим режимом. Приблизительно в это же время активизировали свою деятельность Зеленые и Медвежьи источники (рис. 1).

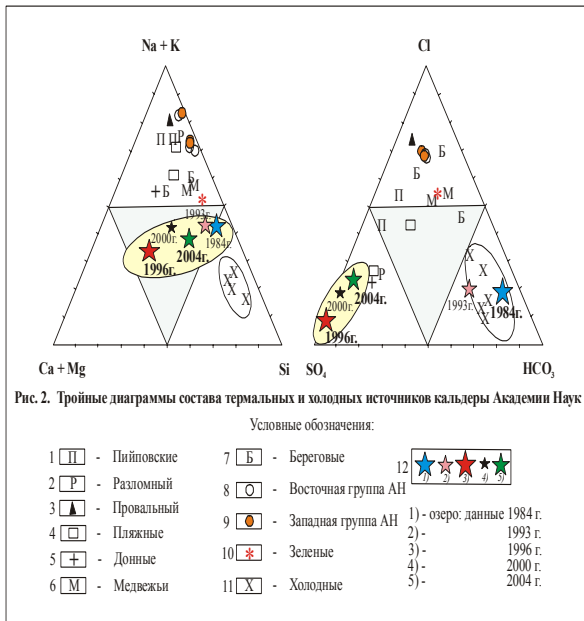
Все эти группы термопроявлений сразу же после катастрофического события в озере исследовались Е.А.Вакиным и Г.Ф.Пилипенко [2]. В их работе подробно описаны характерные выходы, типы вод и макроэлементный состав. Нами же были продолжены наблюдения за динамикой солевого состава всех термальных вод кальдеры.

В течение наблюдаемого периода времени (1996-2004 гг.) в деятельности береговых термопроявлений произошли немаловажные преобразования следующего характера: значительно сократились площади их распространения, понизилась температура, общая минерализация и дебит. Значительные изменения в этом плане претерпели Медвежьи, Зеленые, Пляжные и Береговые источники. Визуально наблюдаемые нами еще до 2000 г. высачивания термальных вод в пляжной зоне Медвежьей группы источников, впоследствии частично замылились аккумулятивными наносами от выше расположенной озерной террасы I уровня. То же самое наблюдалось и на Зеленых источниках. На стадии затухания в настоящее время находятся источники Ушаковские и Ванна-2.

На фоне общего снижения активизации термальных полей со временем наблюдается и появление новых выходов гидротерм. Так, в 1998 г. нами было отмечено появление нового высокотемпературного (93.0°C) источника Карбонатный в береговой зоне юго-юго-восточного сектора озера, с общей минерализацией около 1 г/л и отличающегося от всех наблюдаемых здесь термопроявлений необычным составом - Cl-HCO_3 - Ca-Na. По данным химического анализа в нем было обнаружено повышенное содержание В и Si. В месте выхода со временем сформировался панцирь кальцита.

К настоящему времени несколько изменилась в плане и морфология п-ова Новогоднего (северная часть озера), образовавшегося вследствие подводного

извержения в озере в 1996 г. Поверхность полуострова, сложенная свежесброшенным со дна озера вулканогенным материалом, частично покрылась глинистыми наносами от конусов выноса с северного борта кальдеры, где визуально наблюдаются отложения гидротермально-измененных пород. На поверхности северо-восточного сектора полуострова, тяготеющего к ручью Горячему, появились заметные просадки. В самом крупном провале (около 4 м), возникшем в 1997 г., около года наблюдался выход высокотемпературных гидротерм хлоридно-натриевого состава, который затем исчез, вследствие обвала в провале. Но до сих пор в этом месте породы прогреты до 90-95°C и идет их аргиллизация.



* Кисилев С.Ю., Куницын О.В. и др. Отчет Ольховой ГПП о результатах гидрогеологической съемки масштаба 1:200000, проведенной на территории листов № 57-XXII, XXVIII, XXIX. ГПП Камчатгеология, ПГГЭ, п. Термальный. Кн. 1. 1992. 147 с.

Солевой состав термальных источников

Солевой состав всех наблюдаемых групп термальных источников кальдеры Академии Наук со временем претерпел существенные изменения, что наглядно отражается на тройных диаграммах состава (рис. 2). В обособленную группу выделяются источники Академии Наук. Воды источников углекисло-азотные, щелочной реакции (pH=9.0-9.4), низкоминерализованные (M=1.0-1.5 г/л), хлоридно-гидрокарбонатно-натриевого состава, с заметным количеством в свободных газах O₂ (до 23%). Отличительной их особенностью является повышенное содержание кремнекислоты (H₄SiO₄ - до 370 мг/л), что свидетельствует о высокой температуре их формирования [8].

По солевому составу к источникам Академии Наук тяготеют некоторые термопроявления п-ова Новогодний (Провальный, Береговой-1), но они имеют более повышенные концентрации сульфат-иона (табл. 1).

Таблица 1. Химический состав термальных и холодных вод кальдеры Академии Наук (Камчатка)

Название источника	Дата отбора	T°С	pH	Химический состав: мг/л											Сумма
				Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄ ⁻	HCO ₃	H ₄ SiO ₄	NH ₄	F	H ₃ BO ₃	
ист. п-ова Новогодний															
ист. 1 Пийповской группы	1996	89.00	7.76	551.00	58.00	124.00	16.90	753.00	509.00	140.30	291.20	н.о.	н.о.	53.40	2496.60
	2001	82.00	7.36	387.30	34.90	42.10	9.70	379.90	393.80	81.80	274.20	н.о.	1.00	18.00	1612.70
Разломный Провальный Донные	2002	67.00	8.05	370.00	54.00	48.10	2.40	379.40	441.90	76.90	410.00	0.1	н.о.	28.40	1811.20
	2002	77.00	7.84	247.20	23.00	14.40	1.00	136.20	317.00	94.00	263.00	0.1	н.о.	13.60	1109.50
Пляжные (заколушки)	1997	96.00	7.80	849.00	85.00	92.00	2.40	1221.00	317.00	119.50	481.00	0.1	1.11	57.80	3205.20
	2002	64.00	7.74	98.30	7.55	37.00	8.30	74.80	230.50	50.00	127.00	0.2	н.о.	6.80	641.15
Медвежьи	1997	79.00	7.30	255.00	24.00	48.00	9.70	282.00	240.00	157.00	390.00	0.1	1.0	16.30	1418.10
	1998	72.00	6.50	163.00	15.90	46.80	11.20	122.50	297.80	50.00	203.70	0.1	0.2	8.20	922.40
	1999	64.00	7.64	225.00	20.00	50.00	4.90	175.70	336.00	98.90	276.30	0.1	1.2	10.90	1200.70
	2000	57.20	7.59	280.00	30.20	38.10	3.60	176.10	393.80	92.80	293.10	0.2	н.о.	5.20	1313.00
	1997	37.00	7.60	79.30	8.60	20.00	1.40	109.30	28.80	65.90	167.00	0.1	1.14	8.10	448.70
	1999	38.00	7.33	115.00	11.90	20.00	1.90	145.60	67.20	76.90	288.90	0.1	1.14	0.40	727.90
	2002	37.00	7.34	114.60	15.30	14.40	1.50	138.30	57.60	76.90	272.00	0.1	н.о.	16.70	1313.10
ист. Юго-Вост. группы															
Береговые	1997	96.00	8.48	196.00	12.50	32.80	0.12	277.00	28.80	91.50	382.00	0.40	0.74	20.40	1022.30
	2002	91.00	8.12	255.60	21.20	10.40	2.40	305.00	105.70	84.20	183.00	0.10	0.70	35.90	1313.10
	1999	85.00	7.50	250.00	22.90	110.85	1.50	292.90	115.30	74.40	441.30	0.10	0.10	28.80	1338.00
Карбонатный Ушаковский	2002	93.00	7.83	190.80	13.80	26.40	0.50	226.90	57.60	239.20	253.00	0.10	н.о.	24.10	1032.40
	1997	97.00	4.60	7.60	2.10	11.00	0.60	0.70	57.60	0.00	108.00	6.50	0.17	0.70	195.00
Академические															
Старый Геизер (Восточная группа ист. Академии Наук)	1947*	98.00	8.70	237.00	26.00	9.00	0.00	355.00	92.00	85.00	343.00	н.о.	2.30	48.00	1200.00
	1974**	65.00	8.90	300.00	30.00	2.40	1.50	347.00	84.00	74.00	144.00	0.10	2.30	48.00	1033.30
	1984//	94.00	9.30	367.00	29.00	3.60	0.10	418.00	105.00	109.00	512.00	0.10	н.о.	52.00	1613.00
	1997	98.00	9.20	318.00	14.00	6.80	0.20	389.00	106.00	51.00	372.00	0.40	2.10	53.00	1312.50
Геизер Академический (Западная группа ист. Академии Наук)	2002	98.00	9.32	312.10	23.50	1.60	0.12	400.70	105.70	84.80	473.00	0.10	0.30	51.90	1453.80
	1997	97.00	9.25	360.00	15.00	6.40	0.10	453.00	96.00	114.70	426.00	0.10	1.93	44.90	1498.10
	2001	97.00	9.41	354.30	23.50	2.00	0.40	426.00	105.70	114.70	246.90	0.00	2.10	36.00	1311.60
ист. Зеленые	2002	97.00	9.25	302.20	21.30	4.80	2.40	390.10	105.70	87.50	393.00	0.10	н.о.	47.00	1354.10
1998	45.00	7.40	65.50	17.50	12.00	2.90	88.80	29.80	51.30	224.30	0.10	0.33	8.70	501.20	
Холодные ручьи															
руч. Каньон	1999	6.00	7.55	6.00	1.40	3.60	1.20	3.60	6.20	20.70	84.10	0.10	0.10	0.40	127.30
руч. Карымский	1999	6.00	7.30	3.60	0.80	2.40	0.20	7.80	4.30	15.90	89.80	0.10	0.10	0.40	125.40
руч. Новолагерный	1999	5.50	7.30	9.90	1.10	2.80	1.50	11.40	4.80	17.10	80.40	0.10	0.10	0.40	129.50
руч. Медвежий	1997	7.00	6.54	5.20	0.60	3.60	0.20	2.10	4.30	19.50	74.80	0.10	0.10	0.40	111.00
руч. Гремучий	2002	11.80	7.75	7.50	0.40	4.00	1.00	2.80	7.50	25.80	90.00	0.10	0.10	0.40	140.40
поверхность акватории озера Карымского															
ст. S ₂ - центр озера Карымского	1984//	3.50	7.05	10.40	1.60	1.60	0.50	8.50	3.80	35.10	48.00	0.10	0.10	1.20	110.90
	1996+	16.00	3.31	79.00	20.00	64.00	15.10	45.00	351.00	0.00	188.00	0.10	0.10	2.29	743.00
	2000	14.00	4.50	66.70	8.00	35.30	8.50	43.06	201.70	0.20	200.00	0.10	0.80	0.50	562.50
	2004	12.00	5.31	47.00	6.50	25.60	6.80	42.20	153.70	1.50	185.70	0.10	0.70	3.90	481.31
ст. S ₁ - центр подводного кратера Токарева	1996+	-	3.10	72.00	10.50	66.00	14.80	40.00	378.00	0.00	189.00	0.10	2.51	0.60	754.30
	2000	13.80	4.30	66.10	7.10	36.00	10.20	44.50	201.70	1.20	129.00	0.10	-	6.12	617.10
	2004	13.90	5.40	55.70	6.46	26.40	7.30	39.70	163.30	1.00	157.00	0.10	0.65	3.70	520.70

Анализы выполнены в геохимической группе ЦХ/ПВиС/ДВО РАН. Аналитики: Сергеева С.В., Смышляева А.А.

Примечание.

1947*	- по [3]
1974**	- по [4]
1984//	- по [9]
н.о.	- не обнаружено
1996+	- по [11]
-	- нет данных

Наиболее высокоминерализованными из всех исследуемых источников являются горячие ($T=87-89^{\circ}\text{C}$) источники Пийповские (в частности, источник №1), представляющие собой газогидротермы напорного характера. Разгружаются они прямо в русле ручья Горячего (в 5-15 м от его устья), расположенного в истоках р. Карымской под ее левобережной террасой. Поблизости от этой группы источников нами наблюдался еще один сосредоточенный выход горячей минерализованной воды прямо в русле р. Карымской, замечен своим бурным газированием. Впоследствии его деятельность стала практически затухать.

Группа источников «Пийповские» отличается щелочной реакцией, существенно хлоридно-натриевым составом, повышенными содержаниями NH_4 , K , HCO_3 и заметной примесью сульфат-иона. По всей вероятности, данные термопроявления относятся к глубинным условиям формирования. По общему составу и содержанию в них H_3BO_3 они довольно близки к типичным Cl-Na растворам, присущим высокотемпературным гидротермальным системам, таким как Узон-Гейзерная, Паужетская и другие [1]. Схожий состав имеет также гейзерная вода источников Академии Наук и вода из взрывной воронки-4 (п-ов Новогодний), но только в первом случае наблюдается меньшая минерализация, а во втором - повышенные содержания сульфат-иона до 700 мг/л.

В процессе девятилетних наблюдений (1996-2004 гг.) практически во всех источниках п-ова Новогоднего фиксировались незначительные вариации в концентрациях сульфат-иона, но к 2004 г. их значения стали значительно понижаться (в 1.5 раза по сравнению с 1996 г.). К тому же, в них ощутимо снизились и значения таких компонентов, как F и Mg , а из рудных - Fe , Zn , Ni , некогда наблюдавшихся нами в повышенных количествах (1996 г.).

Немаловажные изменения наблюдаются здесь же и по другим параметрам, таким как $T^{\circ}\text{C}$ воды и концентрациям гидрокарбонат-иона. В частности, если температура воды в береговой закопушке Пляжных источников (т.н. 1) у северо-восточной кромки подводного кратера Токарева летом 1996 г. составляла 86°C и практически такой же оставалась до 2000 г., то в 2004 г. она понизилась до $45-50^{\circ}\text{C}$. Здесь же, иная картина наблюдается по отношению к гидрокарбонат-иону, концентрация которого, относительно прежних значений, возросла на 1/3. Причиной этому, по всей видимости, служит все возрастающая доля поступающей с глубин углекислоты.

В солевом составе источников Академии Наук за период наблюдений практически ничего не изменилось. Отмечается лишь небольшое снижение содержаний B и SO_4^{2-} . Наблюдаемые же нами незначительные флуктуации в концентрациях химических параметров в летний период времени, скорее всего, можно отнести к различной степени их разбавления холодными водами в приповерхностных условиях.

Солевой состав воды Карымского озера

Систематические наблюдения за изменением солевого состава озерной воды ведутся по ряду причин только с 2000 г. До этого времени они имели эпизодический характер. Следует отметить, что до катастрофического извержения в озере в 1996 г. специальных гидрологических исследований его водной толщи не велось, за исключением взятия некоторых проб воды для уточнения возможности разведения лососевых рыб [6].

Гидрологические работы в процессе наблюдений ведутся по двум режимным станциям: S_1 - центр подводного кратера Токарева, S_2 - центр озера и двум створам - I, II в истоках р. Карымской.

В толще озерной воды ведутся наблюдения за щелочностью-кислотностью, $T^{\circ}\text{C}$, растворенным O_2 и солевым составом по стандартным горизонтам: 0-10-20-30-40-50-60 м. Гидрологические станции опробуются с катамарана при помощи ручной лебедки. Привязка станций осуществляются спутниковым GPS - приемником.

За период наблюдений обработка всех данных выявила существенные изменения в химическом составе озерной воды.

До извержения 1996 г. вода Карымского озера была пресной ($\text{pH}=7.1$), низкоминерализованной ($M=110-130$ мг/л), имела гидрокарбонатно-натриевый состав, практически не менявшийся, за исключением слабого роста (предвестника события ?) в ней в

1993 г. общей минерализации, выразившейся в увеличении содержаний в воде Na, Cl, B [3,6,8,10].

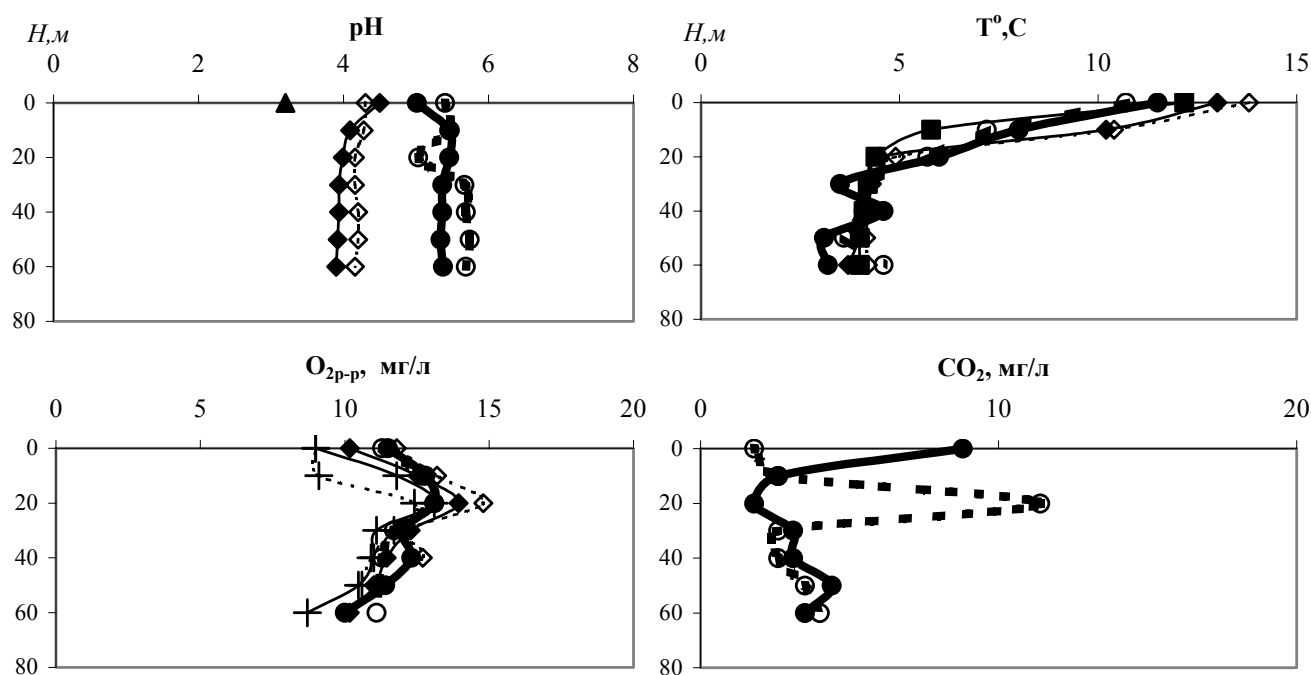
С магматическим материалом в озеро поступило огромное количество вещества: химических компонентов, растворенных газов и выброшенного вместе со взрывом вулканогенного материала. В связи с этим пресное до извержения озеро практически за мгновенное в геологическом плане время превратилось в водоем с кислой водой (pH = 3.2) Cl-SO₄ - Ca-Na состава, с общей минерализацией около 1.0 г/л. В пробе озерной воды, отобранной фактически сразу же после извержения в озеро в 1996 г., наблюдалось резкое возрастание Na, K, Mg, Cl, F, B, Si и SO₄. Помимо этого, в озеро также фиксировались довольно высокие значения Zn, Ni, Mn, Cu, Al и Sr [4].

Озерная вода после извержения в озеро была достаточно хорошо перемешана, затем в ней стали происходить различные преобразования [10].

В первые годы наблюдений за озером уже наметилась слабая тенденция уменьшения содержания в воде Mg, B, H₄SiO₄, Fe, SO₄ и общей минерализации. Сразу после извержения еще наблюдалось высокое содержание растворенного Fe (7-12 мг/л), однако к лету 1997 г. оно упало до 1-2 мг/л в глубинной воде и до 0.1-0.5 мг/л - в поверхностной, но при этом почти на порядок увеличилось количество взвешенного Fe [4].

Объяснение этому процессу можно найти в разбавлении озерной воды атмосферными осадками и вследствие стока в водоем множества холодных ручьев, расположенных по всему периметру озера.

Постепенное разбавление озерной воды сопровождалось возрастанием значений pH, неуклонно стремящихся к отметке 6.0 (рис. 3).

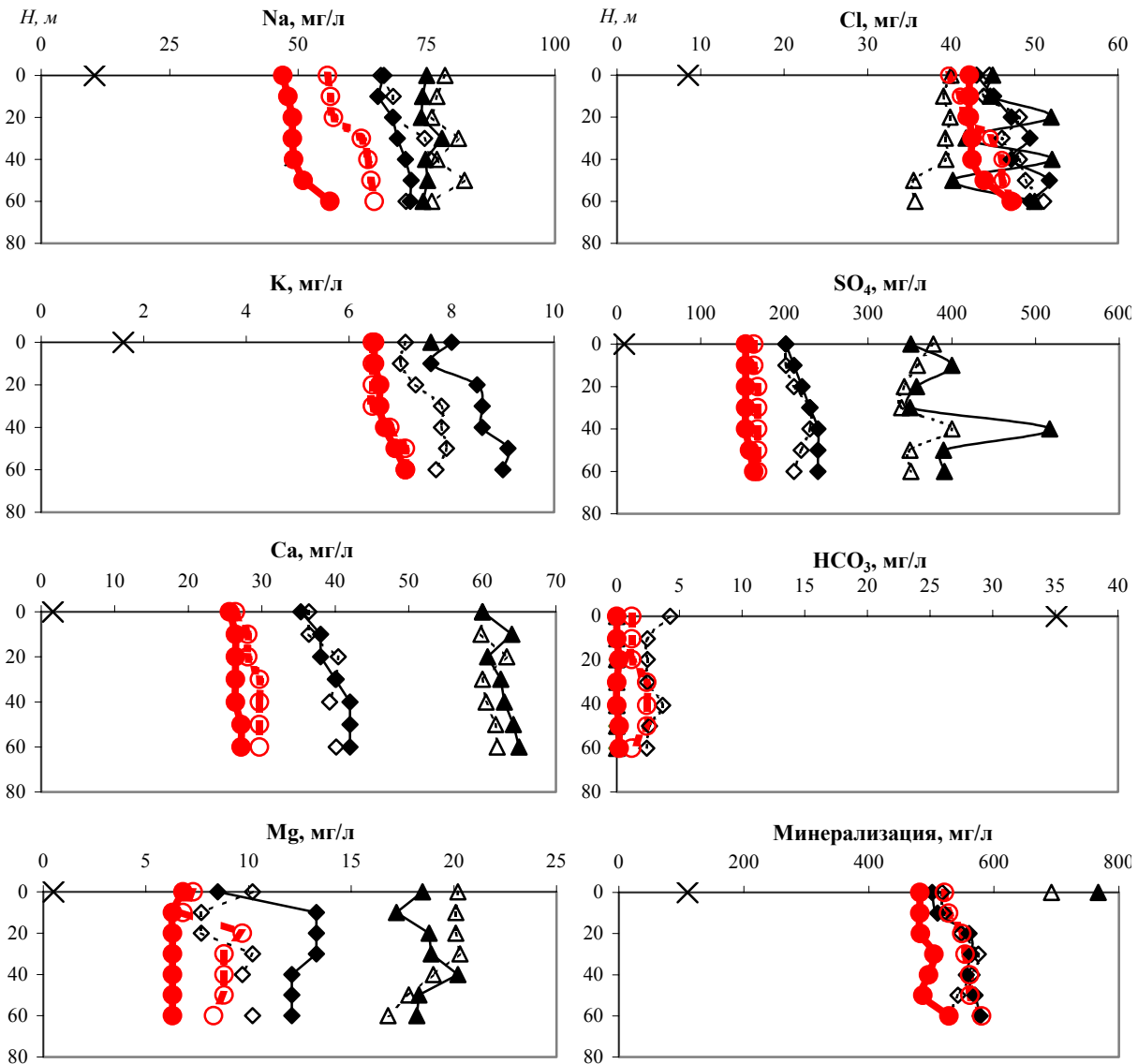


Условные обозначения:

- | | | | | |
|--------|----------------|--------------------------------|-----|-----------|
| — | сплошная линия | - озеро | | |
| - - - | пунктирная | - подводный кратер | | |
| 1) —■— | | - данные наблюдений за 1984 г. | | |
| —▲— | | | —◆— | - 2000 г. |
| —+— | | | —●— | - 2004 г. |
| | | | —○— | |

Рис. 3. Графики наблюдений за изменением pH, CO₂, O₂ и T^o,C в оз. Карымское (Камчатка) по данным летних режимных наблюдений на станциях S₁ и S₂ за 1984 - 2004 г.г.

Общий солевой состав озерной воды, судя по имеющимся данным наблюдений (рис. 4), также претерпел существенные изменения в сравнении с 1996 г. Прослеживается общая направленность в снижении концентраций катионо-анионного состава. Превалирующую роль в катионно-анионном составе продолжают играть SO_4 , Na и Cl.



Условные обозначения:

- | | | | | | |
|-------|---|--|-----|---|---------|
| — | - | ст. S ₂ - центр озера Карымского | ◆ ◇ | - | 2000 г. |
| - - - | - | ст. S ₁ - центр подводного кратера Токарева | ● ○ | - | 2004 г. |
| X | - | 1984 г. | | | |
| ▲ △ | - | (весна) 1996 г. | | | |

Рис. 4. Динамика изменения солевого состава воды в оз. Карымское (Камчатка) по данным режимных наблюдений станций S₁ и S₂ за летнее время 1984 - 2004 г.г.

В солевом составе воды озера заметно снизились концентрации SO_4 , Ca, Mg и K (в среднем в 2-2.5 раза), чего нельзя сказать по отношению к Na и Cl - иону, концентрации которых понижаются в более замедленном темпе (в 1.2-1.3 раза), особенно в подводном кратере Токарева.

В кратере Токарева наблюдается возрастание с глубиной концентраций практически всех компонентов, начиная от 20 м слоя воды. Причем в сравнении с поверхностными водами их значения здесь увеличиваются примерно в 1.3 раза. В данном случае, вероятно, играют роль поступления более минерализованных (чем озерная вода) термальных вод, разгружающихся в северо-восточном и юго-западном бортах подводной воронки.

Гидрохимический профиль А-В

Физико - химические параметры. Летом 2001 г. было выполнено гидрохимическое профилирование в направлении Ю-С, от береговой зоны разгружающихся в озеро источников Академии Наук через водную толщу озера к Пляжным источникам, разгружающимся в северо-восточной кромке кратера Токарева (рис. 1).

На гидрохимическом профиле А-В по вертикали показаны значения физико-химических параметров (рН, T°С), основного солевого состава воды и растворенного в озерной воде O₂ (рис. 5).

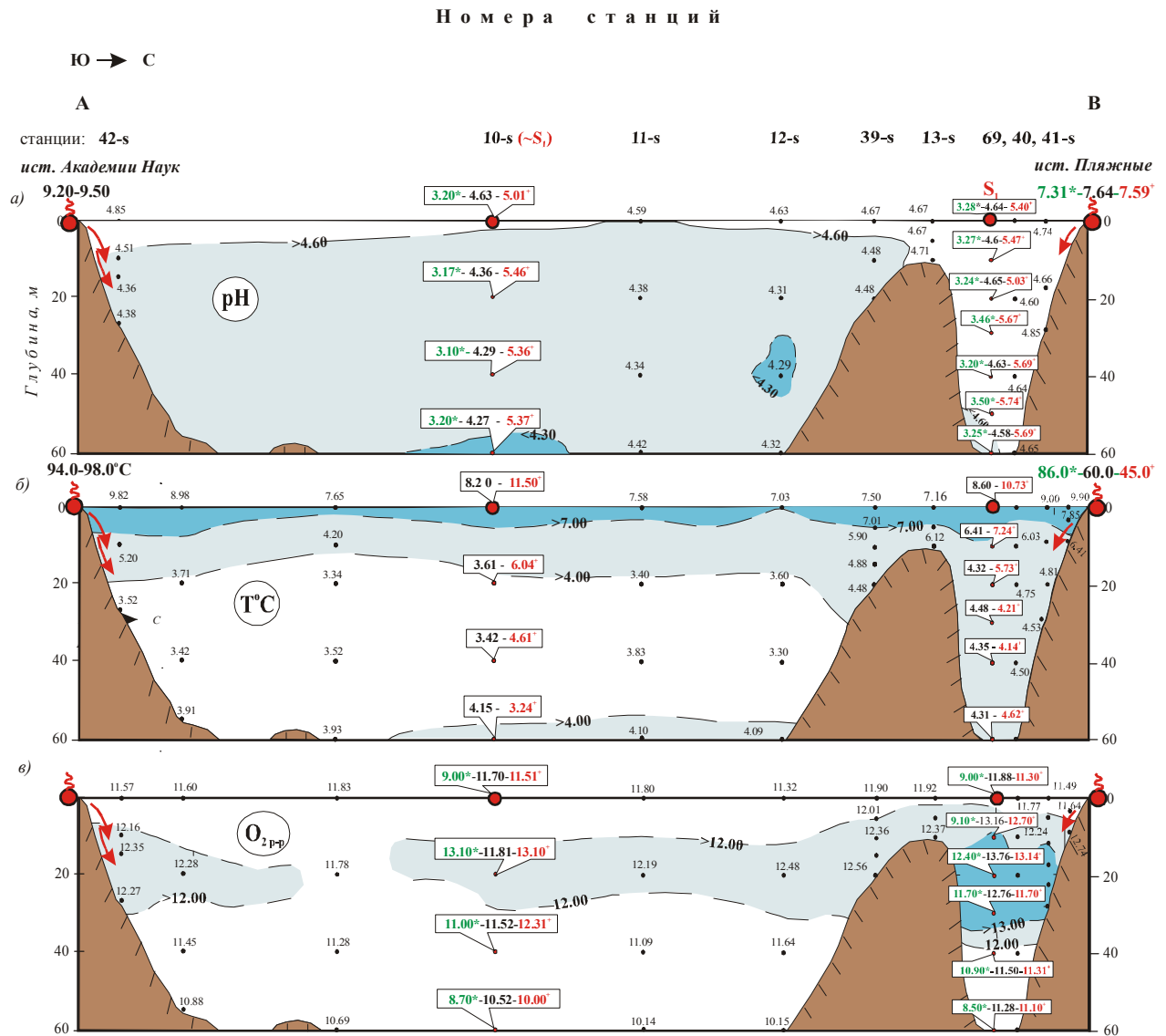


Рис. 5. Распределение химических параметров: а) рН, б) T°С, в) O_{2pp} (мг/л), г) М (мг/л) по разрезу А - В (оз. Карымское, июль - 2001)

Условные обозначения:

<p>А - В - гидрохимический разрез А - В, выполненный в направлении от гейзеров Академии Наук до северной кромки подводного кратера Токарева;</p> <p>42-с - номер гидрологических станций;</p> <p>(рН) - химические параметры;</p> <p>• 7.58 - точки: место отбора проб воды в июле 2001 г.; цифры: значения химических параметров;</p> <p>4.0 - экстраполяция значений химических параметров;</p>	<p>а) рН > 4.60; б) T°С > 7.0; в) O_{2pp} > 13.0;</p> <p>а) рН - 4.60 - 4.30; б) T°С - 7.0 - 4.0; в) O_{2pp} - 13.0 - 12.0;</p> <p>а) рН < 4.30; б) T°С < 4.0; в) O_{2pp} < 12.0;</p>	<p> - схематичный рельеф дна озера по гидрохимическому разрезу А - В;</p> <p> - режимные станции: S₁ - центр подводного кратера Токарева S₂ - центр озера Карымского;</p> <p> - подводная разгрузка терм; - береговые термы;</p> <p>значения параметров рН и T°С по данным наблюдений за: 3.20* - 1996 г. (весна); 4.63 - 2001 г. (лето); 5.01* - 2004 г. (лето)</p> <p>значения O_{2pp} по данным летних наблюдений за: 9.00* - 1998 г.; 11.70 - 2001 г.; 11.51* - 2004 г.</p>
---	---	--

Водородный показатель. До извержения в озере значения этого показателя практически не менялось [3,6,8]. Как видно на рис. 3, значения pH в 2004 г. возросли по сравнению с летними значениями 1996 г. (3.2) и находятся в пределах 5.5-6.0, т. е. видимо осязаемое распреснение озерной воды.

В целом же, можно сказать следующее: поверхностная вода озера, вплоть до зоны эпилимниона (~ до глубин 10-15 м, иногда до 20), разбавляется метеорной водой интенсивней, нежели ее глубинная часть. Местами в озере фиксируются участки с пониженными или повышенными значениями водородного показателя.

Температура. Распределение температуры по профилю 2001 г. в летний период времени имело нестабильный характер. Значения температуры на поверхности озера (7-9°C) были ниже сезонных (12-14°C). То же самое можно сказать и о распределении температур по глубине озера. По данным С.В.Ушакова в придонном слое озера (на ст. S₂ - центр озера) временами фиксировалось увеличение температуры на десятые доли градуса (в среднем на 0.2-0.4°C).

Растворенный кислород. Совершенно необычная картина выявилась в отношении вертикального распределения в озерной воде O₂. В 1998 г. поверхностные и придонные слои озерной воды были менее насыщены растворенным O₂ (всего 8-9 мг/л) по сравнению с толщей воды, лежащей между ними. К 2001 г. значения O₂ в этих слоях воды достигали 11 мг/л. В целом, судя по распределению растворенного O₂ по вертикали на ряде станций гидрохимического профиля А-В, можно отметить, что поверхностная и придонная вода и озера и кратера почти вплоть до 2004 г. были менее насыщены растворенным O₂, чем толща воды между ними.

По распределению растворенного O₂ на гидрохимическом разрезе А-В выделяется линза озерной воды, насыщенная O₂ до 12.5 мг/л, толщина которой доходит до 20 м. Эта линза приурочена к слою воды глубиной 10-30 м. То же самое наблюдается и в кратере Токарева, где к тому же значения растворенного O₂ возрастали до 13.8 мг/л, а в 2000 г. здесь фиксировались максимальные за весь период наблюдений значения - 14.8 мг/л (местный фон - 10 мг/л).

Несомненно, что содержание O₂ в воде меняется в вертикальном разрезе и по латерали в зависимости от T°C, солености и др. физико-химических и термодинамических параметров. Однако, мы не исключаем того, что отмеченные пространственно вариации в содержаниях O₂ определялись тем, что источником поступления кислорода могут быть или грунтовые воды, разгружающиеся в избытке в северо-западном и восточном секторах озера, или недоизученная на данный момент деятельность микробиоты.

Солевой состав воды гидрохимического профиля А-В.

По данным наблюдений по меридиональному гидрохимическому профилю в озере существует далеко неоднозначная картина распределения в вертикальном разрезе ряда компонентов основного солевого состава (рис. 6).

Относительно распределений катионного состава по вертикали в озерной воде отмечается следующее: на фоне незначительных понижений (в среднем в 1.2-1.3 раза) концентраций Na и K (почти в 2-3 раза), содержания Mg и Ca заметно снизились (почти в 2-3 раза). В процессе наблюдений за толщей озерной воды в промежутке глубин 20-40 м нами было также замечено линзообразное положение слоя воды, тяготеющего к центральной части озера, с повышенными концентрациями Na (порядка 70.0 мг/л) относительно фоновых (50 мг/л). С чем это связано - еще предстоит выяснить.

Во всей озерной массе воды практически по всем химическим параметрам наблюдается рост концентраций с глубиной, а для таких компонентов, как Mg, SO₄ и локально Cl, долгое время в придонных слоях фиксировались даже максимумы относительно местного фона. Более контрастно это выглядело в придонных водах подводного кратера Токарева, где концентрации Cl-иона превышали 50 мг/л, а SO₄²⁻-иона - 220 мг/л. Объяснение этому можно найти в слабом перемешивании водных масс обширного водоема с глубиной, а также в вероятном поступлении минерализованных терм со дна.

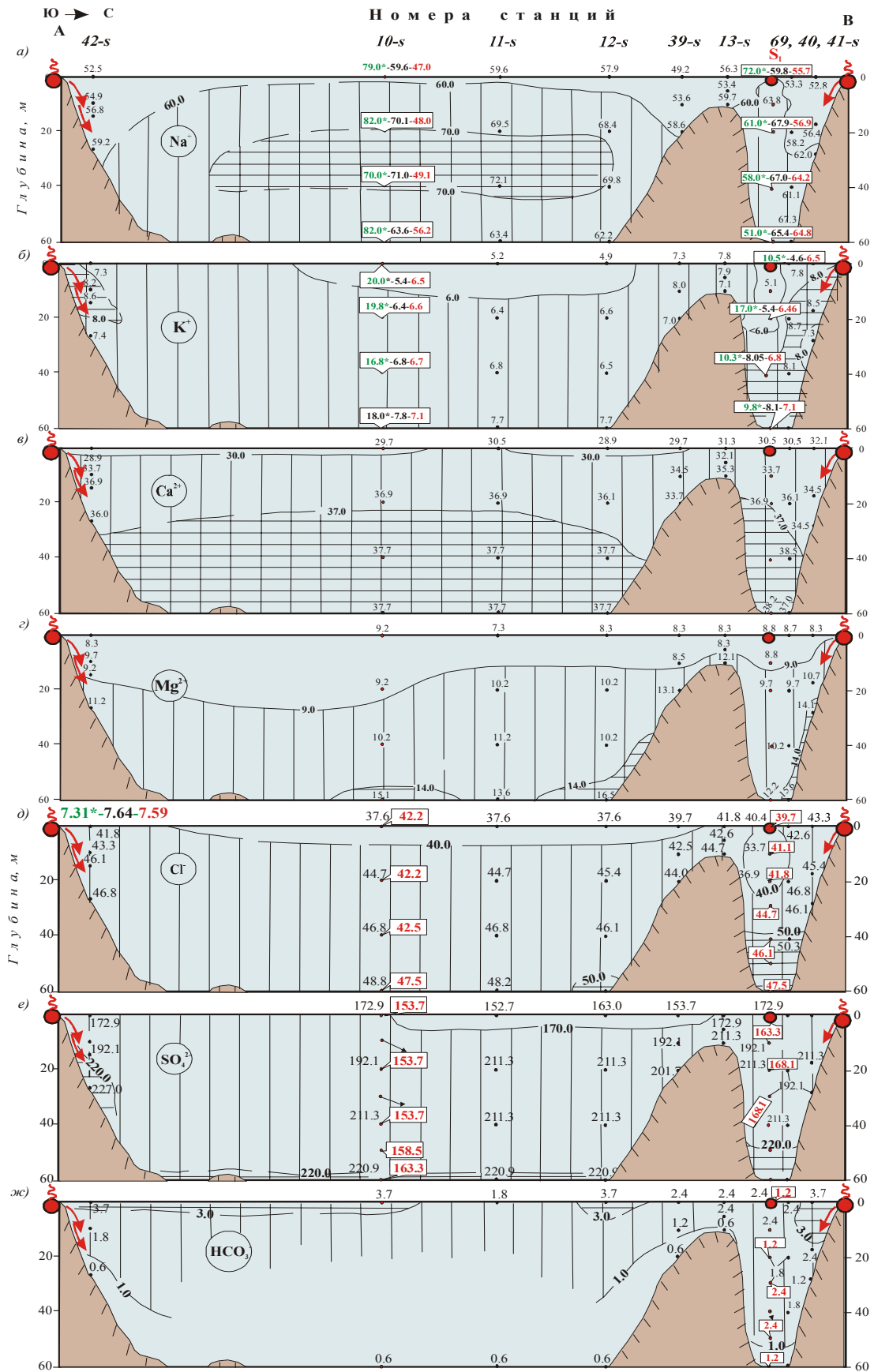


Рис. . Распределение солевого состава по гидрохимическому разрезу А - В, в мг/л (оз. Карымское, июль 2001 г.)

Условные обозначения:

Содержание химических компонентов в мг/л:

- а) Na^+ > 70,0;
- б) K^+ > 8,0;
- в) Ca^{2+} > 37,0;
- г) Mg^{2+} > 14,0;
- д) Cl^- > 50,0;
- е) SO_4^{2-} > 220,0;
- ж) HCO_3^- > 3,0;



- а) Na^+ - 60,0 - 70,0;
- б) K^+ - 6,0 - 8,0;
- в) Ca^{2+} - 30,0 - 37,0;
- г) Mg^{2+} - 9,0 - 14,0;
- д) Cl^- - 40,0 - 50,0;
- е) SO_4^{2-} - 170,0 - 220,0;
- ж) HCO_3^- - 1,0 - 2,0;



- а) Na^+ < 60,0;
- б) K^+ < 6,0;
- в) Ca^{2+} < 30,0;
- г) Mg^{2+} < 9,0;
- д) Cl^- < 40,0;
- е) SO_4^{2-} < 170,0;
- ж) HCO_3^- < 1,0;

- режимная станция;

- разгрузка терм;

- изоконцентрации

- хим. компонентов за 1996 (весна)-2001-2004 г.г.

На профиле А-В (рис. 6) в подводной зоне, тяготеющей к т.н. В (кромке северного внутреннего склона подводного кратера Токарева), прослеживается нисходящий поток минерализованных вод.

Основные выводы

1. Береговые термальные источники, спустя 9 лет после катастрофического извержения в озере, претерпели определенные изменения: сократились их активность и площадь распространения, наблюдавшаяся до 2000 г. Особенно это заметно на источниках Пляжные, Бурлящий, Медвежьи и Зеленые, в которых понизились $T^{\circ}C$, общая минерализация и дебит. Другие источники - из группы Береговых, Ушаковские и Ванна-2 находятся на стадии затухания.

2. Немного снизилась концентрация сульфат-иона в Пийповских и Пляжных источниках, но в то же время в них заметно возросли концентрации гидрокарбонат-иона, причиной чему, вероятно, явилось поступление с глубин углекислых газов.

3. Происходит постепенное разбавление воды в озере Карымском, о чем свидетельствуют и значения рН, приближающиеся к отметке 6.0.

4. Температура воды в озере в летний период времени имеет нестабильный характер. Интенсивней всего прогревается верхний слой озерной воды до зоны эпилимниона. По данным температурного профилирования (2001 г.) в подводном кратере Токарева практически во всей толще воды наблюдалось повышение температуры воды в среднем на $1^{\circ}C$ в сравнении с таковой в озере. Причиной чему, на наш взгляд, послужили интенсивные разгрузки термальных вод в бортах и дне кратера.

5. Устойчивое повышение концентраций растворенного CO_2 как в озере, так и в кратере наблюдается в слое воды на глубине 20-30 м.

6. Значительное понижение (в среднем в 2.5 раза) концентраций основного солевого состава наблюдалось по сульфат-иону, по Са, Mg - в 2.3 раза, К - в 1.7. На фоне общего понижения концентраций этих компонентов наблюдается более замедленное понижение концентраций Na, Cl, и H_4SiO_4 .

7. В слое воды подводного кратера Токарева и в том числе озера, приходящемся на глубину 20 м, отчетливо замечено возрастание с 1997 г. растворенного O_2 , значения которого доходят до максимума в данном районе (14.8 мг/л) в сравнении с фоновыми значениями (10-11 мг/л).

8. Придонная вода озера и кратера отличается большей минерализацией, по сравнению с вышележащей толщей, что, возможно, связано с недостаточным перемешиванием общей водной массы, а также вероятным притоком глубинных эманаций, тяготеющих к тектоническим нарушениям в дне озера.

9. В подземном резервуаре, расположенном под полуостровом Новогодним (или тяготеющим к нему), предполагается формирование на глубине перегретых хлоридно-натриевых вод, обогащенных углекислым газом и метаном. Об этом свидетельствует и химический состав воды, разгружающейся в группе источников п-ова Новогоднего и бортах подводного кратера Токарева. В составе названных термальных выходов были отмечены повышенные концентрации В, SiO_2 , NH_4 , характерные для высокотемпературных гидротермальных систем типа Узон-Гейзерной и Паужетской на Камчатке.

Считаем своим долгом выразить искреннюю благодарность своим коллегам А.Г. Маневичу и В.О. Марущаку за значительную помощь, оказанную ими в проведении полевых гидрологических работ на Карымском озере, а также очень признательны к.г.-м.н. И.Ф. Делемену за ценные замечания в процессе подготовки статьи.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта ДВО РАН № 03-3-А-05-063 - Восстановление биоты в посткатастрофический период извержений вулканов.

Список литературы

1. Белоусов В.И., Сугробов В.М. Геологическая и гидрогеологическая обстановка геотермальных районов и гидротермальных систем Камчатки // Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки. Владивосток, 1976. С. 5-22.
2. Вакин Е.А., Пилипенко Г.Ф. Гидротермы Карымского озера после подводного извержения 1996 г. // Вулканология и сейсмология. 1998. № 4. С. 3-27.
3. Влодавец В.И. Вулканы Карымской группы // Тр. Камчатской вулканол. станции. 1947. Вып. 3. С. 3-46
4. Иванов Б.В. Современная гидротермальная деятельность в районе вулканов Карымской группы // Гидротермальные минералообразующие растворы областей активного вулканизма. Новосибирск: Наука, 1974. С. 32-38.
5. Карпов Г.А. Некоторые геохимические особенности подводного извержения в кальдере Академии Наук 2-3 января 1996 г. // Вестник КРАУНЦ. Серия науки о Земле. 2004. № 4. С. 81-89.
6. Куренков С.И. Результаты интродукции кокани в Карымское озеро, Генетические и экологические проблемы разведения лососевых рыб // Тр. ГосНИОХР. Вып. 228. Л.: Промрыбвод, 1985. С. 98-104.
7. Муравьев Я.Д., Федотов С.А., Будников В.А. и др. Вулканическая деятельность в Карымском центре в 1996 году: вершинное извержение Карымского вулкана и фреато-магматическое извержение в кальдере Академии Наук // Вулканология и сейсмология. 1997. № 5. С. 38-70.
8. Пилипенко Г.Ф. Гидротермы Карымского вулканического центра на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 1989. № 6. С. 85-101.
9. Троицкий В.Д. Краткий геоморфологический очерк района Карымского вулкана // Тр. Камчатской вулканол. станции. 1947. Вып. 3. С. 49-88.
10. Фазлуллин С.М., Ушаков С.В., Шувалов Р.А. и др. Подводное извержение в кальдере Академии Наук (Камчатка) и его последствия: гидрологические, гидрохимические и гидробиологические исследования // Вулканология и сейсмология. 2000. № 4. С. 19-32.