

В генетическом ряду узонских терм имеются гидрохимические аналоги перегретых вод практически всех известных высокотемпературных гидротермальных систем областей активного вулканизма, что указывает на генетическую связь всех встреченных на Узоне химических типов вод с глубинными перегретыми термами.

## ЛИТЕРАТУРА

Аверьев В. В. и др. Вулканизм и гидротермы Узонско-Семячинского гидротермального района.— В кн.: Вулканизм, гидротермы и глубины Земли. Петропавловск-Камчатский, 1969.

Иванов В. В. Гидротермальные извержения и гейзеры областей современного вулканизма (Камчатка, Исландия, Новая Зеландия).— В кн.: Формирование и геохимия подземных вод Сибири и Дальнего Востока. М., «Наука», 1967.

Пийп Б. И. Термальные ключи Камчатки.— «Тр. СОПС АН СССР», 1937, вып. 2.

Уайт Д. Е. Термальные воды вулканического происхождения.— В кн.: Геохимия современных поствулканических процессов. М., «Мир», 1965.

Ellis J. Volcanic geothermal areas and internation of thermal compositions.— "Bull. Volcanol.", t. 29, 1967.

Lloyd E. F. The hot springs and hydrothermal cruptions of waiotapy.— N—2.— "J. Geol. a. Geophys.", February, 1960, 2, No 1.

Б. В. ИВАНОВ

(Институт вулканологии ДВНЦ АН СССР)

## СОВРЕМЕННАЯ ГИДРОТЕРМАЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В РАЙОНЕ ВУЛКАНОВ КАРЫМСКОЙ ГРУППЫ

В центральной части Восточной вулканической зоны Камчатки в пределах Карымской кольцевой структуры располагается Карымская группа вулканов, состоящая из двух действующих — молодого конуса Карымского вулкана и вулкана Мал. Семячик, семи потухших вулканов — древнего Карымского Двора (кальдера Карымского вулкана) Однобокого, Белянкина, Разлатого, Соболиного, Сухого и находящегося в стадии интенсивной гидротермальной деятельности вулкана Академии наук. В средне-верхнечетвертичное голоценовое время эта группа представляла собой один из мощных центров вулканизма Восточной вулканической зоны.

Вулкан Карымский. Существование теплых ключей, расположенных в 3 км к юго-востоку от Карымского вулкана, впервые отметил Б. И. Пийп (1937). В 1937 г. источники посетил В. И. Влодавец (1947). В 1962 г. на источниках побывал гидрогеолог В. И. Кононов, который коротко охарактеризовал и впервые привел химический состав термальных вод. В 1963—1965 гг. были проведены периодические наблюдения за Карымскими термальными источниками: ежегодно измеряли их температуру, дебит, определяли химический состав воды и газа. В то же время была составлена схема расположения гидротермальных проявлений (рис. 1). Карымские термальные источники располагаются в 3 км к юго-востоку от конуса Карымского вулкана в юго-западной части широкой долины р. Карымской; последняя представляет собой грабенообразную котловину размером  $1 \times 1,8$  км, разбитую целой системой тектонических нарушений, сосредоточенных главным образом в центральной и северо-западной частях депрессии.

Гидротермальная деятельность вблизи Карымского вулкана выражена двумя формами проявлений — выходом низкотемпературных тер-



мальных вод (18—28° С) в северо-западной части долины, в месте геологического контакта трещиноватых андезито-дацитовых лав молодого конуса с ниже-средне-четвертичными агломератовыми туфами фундамента, и грифонами в пойме реки Карымской с температурой воды 32—42° С. Дебит и температура гидротерм первой формы проявления обусловлены наличием мощного потока грунтовых вод, перехватывающего диффундирующие к поверхности магматические эманации. Существование грунтового потока объясняется высокими коллекторскими свойствами трещиноватых лав и особенностями строения кальдеры Карымского вулкана, которая является прекрасным природным водосбором.

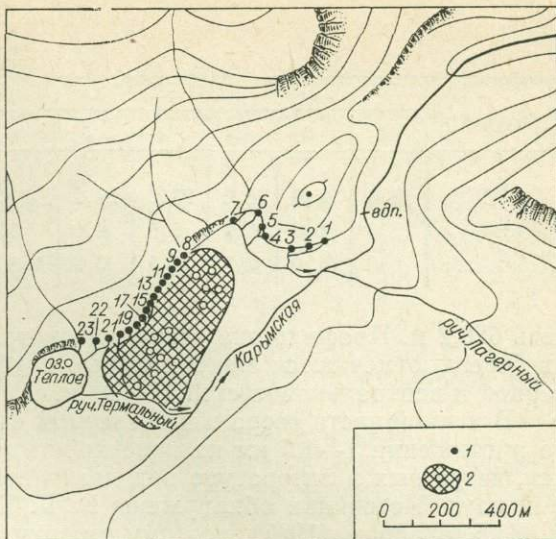


Рис. 1. Схема расположения гидротермальных проявлений Карымского вулкана.  
1 — термальные источники; 2 — сольфатары.

Дебит источников в заметной степени зависит от сезонных колебаний атмосферных вод: так, в июне — июле суммарный дебит источников составляет 374—400 л/с, в августе — сентябре — 350—370 л/с. Всего насчитывается 23 источника. Дебит, температура и их состав приводятся в табл. 1.

Термальные воды грифонов имеют незначительный дебит — 0,01—0,5 л/с, некоторые из грифонов бессточные. Сравнительно высокую температуру термальных вод грифонов В. И. Кононов (1966) объясняет тем, что «термальные воды изолируются от чуждой им геохимической среды, отлагая минеральные новообразования и цементируя водовмещающие породы, поэтому они пробиваются на поверхность сквозь потоки грунтовых вод как бы по трубам, сложенным их солями, сохраняя высокую температуру и присущий им на глубине химический состав». Химический и газовый состав гидротерм вулкана приведен в табл. 2, 3. Результаты частичного химического анализа сухих остатков водных проб приведены в табл. 4.

Количественный спектральный анализ сухих остатков водных проб (аналитик Л. Громова, ИГиГ СО АН СССР) показал следующее.

Грифон на оз. Теплом: Ni — 0,0001%; Sr — 0,01%; Ge — 0,0002%; Си — 0,0001%.

Грифон «Центральный»: Mn — 0,03%; Со — 0,0001%; Ge — 0,0001%; Си — 0,0001%; Мо — 0,0001%.

Источник № 7: Mn — 0,005%, Ti — 0,002%, V — 0,001%, Со — 0,0002%, Zr — 0,0003%, Си — 0,0003%.

Таким образом, термальные воды в районе Карымского вулкана по своему химическому и газовому составу принадлежат, по классификации В. В. Иванова (1958), к термам глубинной восстановительной обстановки в сфере воздействия термометаморфических процессов.

Химический состав терм однообразный по всем источникам и характеризуется преобладанием сульфат-иона и гидрокарбонатов магния, а также повышенным содержанием кремнекислоты.

Вулкан Академии наук. На дне дугообразной постройки вулкана располагается оз. Карымское. Площадь озера 10,15 км<sup>2</sup>, уро-



Показатели	Источники										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Т°С	18,0	26,0	28,0	28,0	27,2	14,0	16,5	18,2	18,0	18,2	16,9
pH	5,5	6,0	5,5	5,5	6,0	6,0	6,0	5,0	5,0	5,0	5,5
Дебит, л/с	6,0	1,0	0,15	10,0	0,25	168,0	75,0	4,0	4,0	2,0	0,75

вень 620,2 м. Профиль дна озера асимметричен; в южной части, в 150 м от берега, отмечаются максимальные глубины в 64—69 м, глубина северной и центральной частей 12—19 м.

В южной части озера и на северном склоне дугообразной постройки на протяжении 1—1,5 км на поверхность выходит ряд горячих источников, известных в литературе под названием источников вулкана Академии наук. Источники обнаружены В. Д. Троицким в 1938 г. и описаны В. И. Влодавцом (1947), поэтому ограничимся лишь некоторыми дополнениями, на наш взгляд, существенными.

Таблица 2

## Газовый состав гидротерм вулкана Карымского (долина р. Карымской)

Номер лавы	Номер пробы	Место взятия пробы	Дата отбора	Дата анализа	Содержание, объемн. %		
					CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
104/64	1	Грифон на оз. Теплом	23/IX 64	23/XI 64	63,93	0,82	35,25
105/64	2	Грифон, долина р. Карымской	23/IX 64	23/XI 64	64,58	0,36	35,06
69/65	3	Грифон на оз. Теплом	16/IX 65	20/XI 65	65,29	0,67	34,04

Примечание. HCl, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> — не обнаружены.

Наибольшее число выходов термальных вод сосредоточено в самой южной части озера, в месте геологического контакта нижне-среднечетвертичного фундамента вулкана, представленного плотными агломератовыми туфами и вышележащими вулканитами аккумулятивной постройки. Здесь на площади 1 км<sup>2</sup> насчитывается 50 грифонов, из которых два по типу извержения могут быть отнесены к гейзерам.

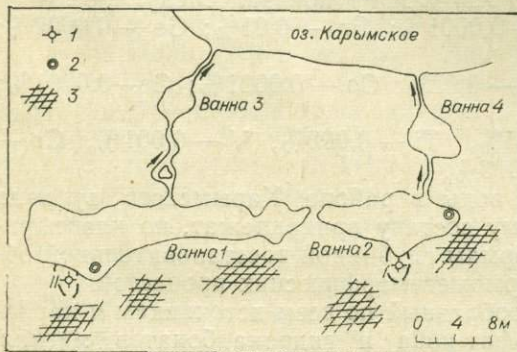


Рис. 2. Схема расположения гидротермальных проявлений вулкана Академии наук.

1 — гейзеры; 2 — грифоны; 3 — измененные породы.

Термальные воды из всех грифонов, расположенных на склоне, и двух гейзеров поступают в две ванны (рис. 2): западную 1 (28×7 м) и восточную 2 (15,4×7 м). Между собой ванны разделены небольшой перемычкой. Максимальная глубина в ванне 1 в северо-восточной части 1,5 м; в ванне 2 в северной части 1,4 м. Ванны 1 и 2 связываются с озером через промежуточные ванны 3 и 4, размеры которых соответственно 5×2,5 при глубине 0,6 м и 6×5 м при глуби-



## вод Карымского вулкана

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
18,8	18,0	19,6	20,5	20,8	21,0	21,5	20,5	21,0	21,5	20,8	18,8
5,0	6,0	6,0	6,0	6,0	5,0	5,5	6,0	6,0	5,5	6,0	5,0
6,0	4,0	63,0	0,5	15,0	3,0	8,0	1,5	3,0	0,1	2,5	0,3

не 0,7 м. Температура воды западной части ванны 1—69° С; в ванне 2—65° С; в ванне 3—56° С; в ванне 4—62° С. При впадении в озеро температура воды 42—48° С.

Гейзер, расположенный в южном борту ванны 2, назван нами «Сердитым» по характерному постоянному клокотанию и довольно сильному шуму. Наиболее сильные выбросы пара и горячей воды происходят через 60—65 с. Температура воды «Сердитого» 98° С.

Второй гейзер «Карлик» располагается на юго-западном борту ванны 1, примерно в 1,5 м над поверхностью воды. Размер отверстия до 15—20 см. Гейзер постоянно бурлит, выбрасывая через 5—8 с пароводяную смесь на высоту до 2 м. Постройка гейзера высотой 50—70 см сложена гейзеритом розового цвета. Температура воды 96—98° С.

На дне ванн 1 и 2 располагаются грифоны, из которых периодически выделяется газ.

Общий расход термальной воды из первой ванны 6,4 л/с, из второй—18 л/с. Суммарный выход тепла 538 ккал/с.

Таблица 3

## Химический состав термальных вод Карымского вулкана

Компоненты	Грифон на оз. Теплом			Грифон «Центральный»			Ист. № 7 Лагерный		
	мг/л	мг. экв./л	мг. экв. %	мг/л	мг. экв./л	мг. экв. %	мг/л	мг. экв./л	мг. экв. %
Na <sup>+</sup>	284,0	12,35	39,7	238,0	10,35	36,1	90,0	3,92	47,7
K <sup>+</sup>	40,0	1,02	3,3	40,0	1,02	3,6	0,0	0,00	0,0
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,1	0,01	0,0	0,1	0,01	0,0	0,1	0,01	0,0
Mg <sup>2+</sup>	166,6	13,76	44,5	166,6	13,73	47,9	35,6	2,93	35,0
Ca <sup>2+</sup>	75,3	3,76	12,5	71,3	3,55	12,4	30,7	1,53	18,3
ΣК	566,0	30,90	100,0	516,0	28,66	100,0	156,4	8,39	100,0
Cl <sup>-</sup>	266,0	7,51	24,0	248,6	7,01	24,0	78,7	2,22	25,6
F <sup>-</sup>	696,5	14,50	46,1	0,6	0,03	0,1	0,5	0,03	0,3
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,9	0,05	0,02	590,8	12,30	42,0	176,8	3,68	42,3
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	567,5	9,30	29,7	604,1	9,90	33,9	167,8	2,75	31,8
ΣА	1530,0	31,31	100,0	1443,5	29,21	100,0	423,3	8,65	100,0
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	15,6	—	—	8,9	—	—	0,0	—	—
H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	104,0	—	—	117,0	—	—	52,0	—	—
Своб. СО <sub>2</sub>	329,0	—	—	381,0	—	—	208,0	—	—
Общая минерализация	2096,0	—	—	1959,5	—	—	579,7	—	—
Формула ионного состава	Mg <sub>45</sub> Na <sub>40</sub> Ca <sub>13</sub> SO <sub>4</sub> 46H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 30Cl <sub>124</sub>			Mg <sub>48</sub> Na <sub>36</sub> Ca <sub>12</sub> SO <sub>4</sub> 42H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 34Cl <sub>124</sub>			Na <sub>48</sub> Mg <sub>35</sub> Ca <sub>17</sub> SO <sub>4</sub> 42H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 32Cl <sub>126</sub>		
pH	6,30			6,22			6,09		
T, °С	41			38			16,5		
Дебит, л/с	—			—			75		

Примечание. Аналитик Р. А. Шувалов.



Таблица 4  
Химический состав сухих остатков водных проб (содержание, %)

Элементы	Грифон на оз. Теплом	Грифон Центральный*	Ист. № 7 Лагерный
Na	13,20	10,08	18,39
K	1,30	0,94	1,62
Li	0,0145	0,0127	0,029
Rb	0,0026	0,0025	0,0041
Cs	0,0025	0,0001	0,0011

Примечание. Аналитик Н. И. Тихомирова.

Гидротермы вулкана Академии наук формируются, по-видимому, в сложной геохимической обстановке. По химическому составу (табл. 5, 6, 7) это слабоминерализованные азотные хлоридно-натриевые воды с отчетливой щелочной реакцией, которые должны быть отнесены к термам глубинной восстановительной обстановки вне влияния термометаморфических и магматических процессов, но выход гидротерм на поверхность в виде пульсирующих паровых струй с температурой 100°, повышенное отношение K/Na (0,1), небольшие концентрации CO<sub>2</sub>, повышенные содержания бора и фтора свидетельствуют о влиянии на формирование гидротерм газов магматического происхождения.

Вулкан Малый Семячик. Озеро, заполняющее кратер Троицкого, имеет площадь около 0,06 км. Температура воды 30—34°С.

Судя по анионному составу (табл. 8), растворяющиеся в воде озера вулканические газы представляют собой в основном соединения серы и хлористый водород. Поэтому вода озера — это смесь соляной и серной кислот, взаимодействующая с контактирующими породами и обогащающаяся за их счет ионами металлов.

Таблица 5  
Химический состав термальных вод вулкана Академии наук

Компоненты	Ванна 1			Ванна 2		
	мг/л	мг-экв/л	мг-экв. %	мг/л	мг-экв/л	мг-экв. %
Na <sup>+</sup>	300,0	13,05	92,7	225,0	9,79	92,5
K <sup>+</sup>	30,0	0,77	5,5	21,0	0,54	5,2
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,1	0,01	0,0	0,1	0,01	0,0
Mg <sup>2+</sup>	1,5	0,12	0,9	1,1	0,09	0,8
Ca <sup>2+</sup>	2,4	0,12	0,9	3,0	0,15	1,5
Сумма катионов	334,0	14,07	100,0	250,2	10,58	100,0
Cl <sup>-</sup>	346,8	9,78	70,6	266,0	7,51	68,8
F <sup>-</sup>	2,3	0,12	0,9	1,6	0,08	0,7
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	84,0	1,75	12,6	68,3	1,42	13,0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	74,2	1,22	8,8	64,8	1,06	9,7
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	30,0	1,00	7,1	25,1	0,84	7,8
Сумма анионов	535,0	13,75	100,0	425,8	10,83	100,0
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	47,9	—	—	37,7	—	—
H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	117,0	—	—	117,0	—	—
Свобод. CO <sub>2</sub>	—	—	—	—	—	—
Общая минерализация	869,0	—	—	676,0	—	—
Формула ионного состава	M <sub>0,87</sub> $\frac{Na93}{Cl71SO_413}$			M <sub>0,68</sub> $\frac{Na92}{Cl69SO_413}$		
pH	8,88			8,73		
T, °C	64,5			61		
Дебит, л/с	6,4			18		



Таблица 6

## Газовый состав гидротерм вулкана Академии наук (грифон ванны 2)

Дата отбора	Содержание, объемн. %									$\frac{N_2+I}{O_2}$
	HCl	H <sub>2</sub> S	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2+</sub>	
VIII 1965 г.	—	—	—	0,3	11,2	0,0	0,0	0,0	88,5	7,90

В табл. 8 наряду с составом воды оз. Троицкого приведен состав вод Верхне-Юрьевского источника, одного из истоков р. Юрьевой, ежедневно выносящей в Охотское море около 35 т железа и более 65 т алюминия (Зеленов, 1960), и кратерного озера Кава Иджен, представляющего собой «естественный резервуар ультракислых вод, одновременно хранящий почти 500 тыс. растворенных металлов» (Зеленов, 1965).

Сравнение химического состава указанных вод позволяет поставить их в один ряд, несмотря на различие в масштабах и характере термопроявлений. Это ультракислые горячие фумарольные воды, активно взаимодействующие с породами. В ходе кислотного разложения вмещающих пород

Таблица 7

## Частичный химический состав сухих остатков водных проб

Элементы	Ванна 1	Ванна 2
Na	24,10	24,92
K	1,47	1,41
Li	0,0506	0,0584
Rb	0,0081	0,0061
Cs	0,0087	0,0034

Примечание. Аналитик Н. И. Тихомирова.

Таблица 8

## Химический состав вод некоторых термопроявлений вулканов Эбеко (Курильские острова), Кава Иджен (Индонезия) и мал. Семячик (Камчатка)

Компоненты	в. Эбеко, ист. Верхне-Юрьевский			Кратерное озеро Кара Иджен			Озеро в кратере Троицкого		
	мг/л	мг-экв./л	мг-экв. %	мг/л	мг-экв./л	мг-экв. %	мг/л	мг-экв./л	мг-экв. %
H <sup>+</sup>	141,37	141,37	38,50	1044,00	1044,00	56,70	354,8	352,00	55,7
Al <sup>3+</sup>	1200,42	133,40	36,33	4913,12	545,91	29,65	1199,0	133,32	21,2
Ti <sup>4+</sup>	0,0	—	—	23,42	2,01	0,11	6,9	0,57	0,1
Fe <sup>3+</sup>	13,60	0,73	0,20	361,42	19,41	1,05	223,0	11,98	1,9
Fe <sup>2+</sup>	660,02	23,63	6,42	1496,54	53,45	2,90	893,9	32,01	5,1
Ca <sup>2+</sup>	543,0	27,10	7,39	888,14	44,40	2,41	726,4	36,25	5,7
Mg <sup>2+</sup>	241,3	19,82	5,41	698,87	57,47	3,12	572,2	47,06	7,4
K <sup>+</sup>	220,0	5,63	1,54	1051,25	26,95	1,46	74,7	1,91	0,3
Na <sup>+</sup>	328,0	14,27	3,88	1100,00	47,83	2,60	380,3	16,54	2,6
Li <sup>+</sup>	8,5	1,23	0,33	—	—	—	—	—	—
Σ <sub>K</sub>	3356,21	367,18	100,00	11526,26	1841,43	100,00	—	631,64	100,0
Cl <sup>-</sup>	4673,88	114,95	35,85	20561,41	579,80	31,60	8793,3	248,12	48,6
HSO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	6943,26	1,60	19,50	—	—	—	11059,0	114,00	24,7
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	6549,12	126,05	37,16	60223,02	1254,60	68,40	6347,0	131,98	22,3
S <sub>4</sub> O <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	—	—	—	—	—	—	1970,0	17,57	3,4
Σ <sub>A</sub>	18166,26	312,60	100,00	80784,43	1834,40	100,00	28169,3	511,67	100,0
SiO <sub>2</sub>	274,0	—	—	—	72,0	—	279,0	—	—
pH	1,12	—	—	—	0,02	—	0,69	—	—
HAsO <sub>3</sub>	—	—	—	—	—	—	0,33	—	—
Ионный состав				M <sub>32,6</sub> $\frac{H56Al21}{Cl49H_2SO_426SO_422}$					

Примечание. Аналитики М. А. Канакина и Р. А. Шувалов.



воды обогащаются металлами. Поскольку вмещающие породы уже достаточно проработаны в процессе гидротермальной деятельности, все эти воды содержат много алюминия (20 мг·экв.%), железа и сравнительно мало щелочей и щелочных земель. По анионному составу данные термы относятся к сульфатно-хлоридным.

Заканчивая рассмотрение гидротермальной деятельности вулканов Карымской группы, следует отметить, что специфические геологические строения района (вулкано-тектоническая депрессия, кольцевая структура, присутствие на глубине интрузивных тел кислого состава и т. д.) позволяют рассматривать район в целом как локализованную гидротермальную систему, располагающуюся в пределах Карымской кольцевой структуры со всеми присущими ей особенностями.

## ЛИТЕРАТУРА

- Влодавец В. И. Вулканы Карымской группы.— «Тр. лаборатории вулканологии», 1947, вып. 3.
- Зеленов К. К. Вынос растворенного алюминия термальными водами Курильской гряды и некоторые вопросы образования геосинклинальных месторождений бокситов.— «Известия АН СССР. Сер. геол.», 1960, № 3.
- Зеленов К. К. Алюминий и титан в кратерном озере Кара-Иджен (Индонезия).— «Известия АН СССР. Сер. геол.», 1965, № 5.
- Иванов Б. В. Извержение Карымского вулкана в 1962-65 гг. и вулканы Карымской группы. М., «Наука», 1970.
- Иванов В. В. Основные закономерности формирования и распространения термальных вод Камчатки.— «Тр. лаборатории вулканологии», 1958, вып. 13.
- Кононов В. И. Влияние естественных и искусственных очагов тепла на формирование химического состава подземных вод. М., «Наука», 1965.
- Пийп Б. И. Термальные ключи Камчатки.— «Тр. СОПС», 1937, вып. 2.

В. И. КОНОНОВ, Р. И. ТКАЧЕНКО  
(ИГЕМ АН СССР)

## БЕРЕГОВЫЕ ТЕРМЫ И ОСОБЕННОСТИ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ

В прибрежных районах Северо-Востока СССР, Японии, Южного Вьетнама, Кореи, Таиланда и Индонезии, а также на западном побережье Турции отмечаются выходы своеобразных высокоминерализованных и высокотемпературных хлоридно-натриево-кальциевых вод\*. Они расположены обычно на наиболее низких участках в непосредственной близости от береговой линии.

Абсолютные отметки источников превышают уровень океана на первые десятки метров, лишь в редких случаях достигая 100—150 м. Основная масса рассматриваемых береговых терм находится в области кайнозойской складчатости Тихоокеанского и Альпийского поясов, а также в областях кайнозойской тектонической активизации. Для этих тектонических областей характерно широкое распространение позднекайнозойского и современного вулканизма, высокая сейсмичность, интенсивная складчатость, сопровождающаяся широким развитием пликативных и дизъюнктивных нарушений.

Выходы береговых терм приурочены к самым разнообразным геологическим формациям: магматическим породам различной основности, многообразным фаціальным комплексам метаморфических пород, оса-

\* Ионы перечисляются в порядке убывания их содержания.