

ВЕРХНЕ-ЩАПИНСКИЕ ТЕРМАЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ: УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ

Калачева Е.Г., Кузьмина А.А.

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

К хребту Тумрок (Восточная Камчатка) приурочен ряд термопроявлений. Наиболее изученными среди них являются Нижне- и Верхне-Щапинские источники, расположенные в грабене р. Левая Щапина (рис. 1). Впервые Нижне-Щапинские источники были описаны В.Л. Комаровым в ходе экспедиции Русского географического общества в 1908 году (Комаров, 1950), а затем Б.И. Пийпом (1937). Основные работы по исследованию терм долины р. Левая Щапина относятся ко второй половине 20 века (Петров, 1970а, 1970б; Кирсанова, Юрова, 1982; 1986¹). Геологическое строение Щапинского грабена изучали А.Е. Шанцер в соавторстве с А.Р. Гептнер, И.А. Егоровой и др. (1969), и в соавторстве с Ф.Ш. Кутыевым, В.С. Петровым (1973).

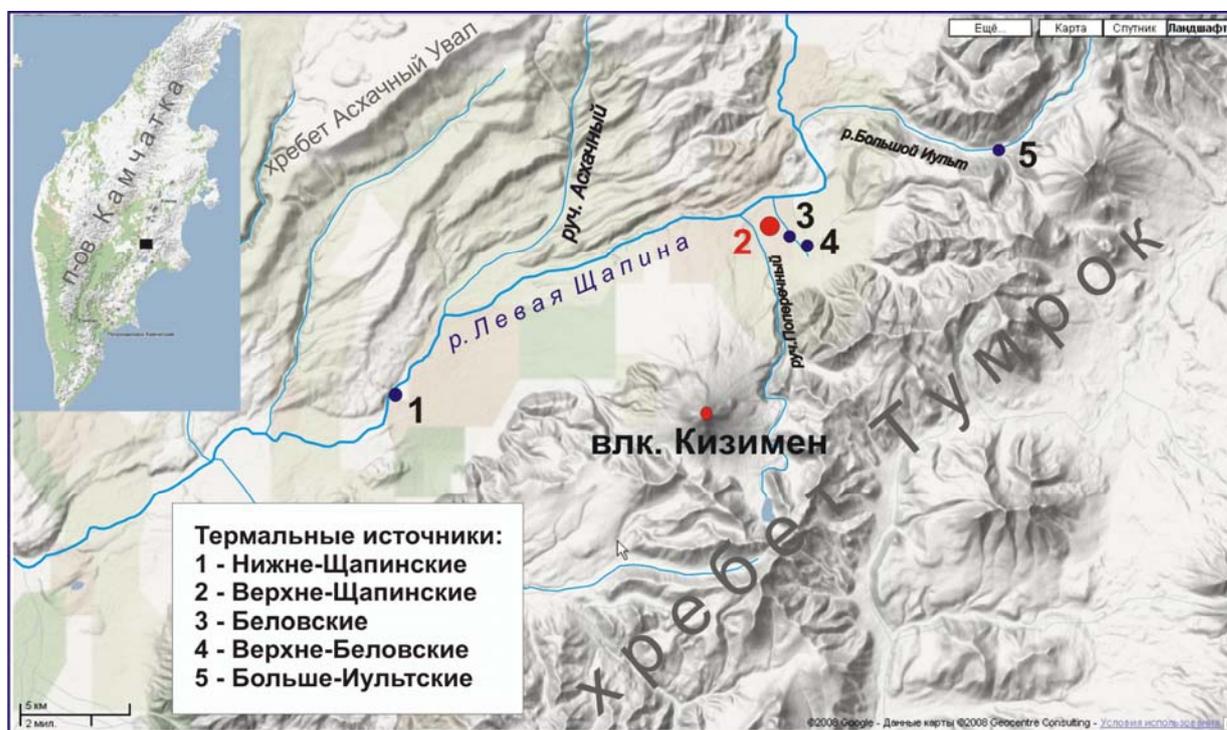


Рис. 1. Расположение термальных источников в долине р. Левая Щапина.

Верхне-Щапинские источники расположены у подножия тектонического уступа в основании левого склона долины р. Лев. Щапина. Выходы термальной воды сосредоточены вдоль трещины северо-восточного простирания. На наиболее высокотемпературном (40-50°C) участке имеется 12 выходов, приуроченных к небольшим котловинам, некоторые из которых каптированы деревянными срубками. Источники активно газируют. Газ на 89-90об.% представлен углекислотой (Кирсанова, Юрова, 1986¹). К северо-востоку и юго-западу от основных выходов встречаются еще около 20 источников с температурой 15-30°C. Воды из всех выходов сливаются в один термальный ручей с расходом 40 л/с, впадающий в р. Левая Щапина.

¹ Кирсанова Т.П., Юрова Л.М. Отчет на тему: Термальные воды Щапинского грабена - их геохимические особенности и геотермальные ресурсы. Фонды ИВиС РАН, 1986, 239 с.

Верхне-Щапинские термальные источники расположены на дне грабена р. Левая Щапина, который является частью 100 км Щапинского грабена, ограниченного горстантиклинальными поднятиями Асхачного Увала с одной стороны, и хребтом Тумрок, с другой. Асхачный увал сложен породами щапинской свиты (N_2^1) и тумрокского комплекса (N_2^2), а в строении хребта Тумрок помимо этих комплексов принимают участие мел-палеогеновые образования и четвертичные вулканиты иультского комплекса (Шанцер и др, 1969). Слагающие борта Щапинского грабена осадочные и вулканогенные толщи сильно дислоцированы и разбиты большим количеством разрывных тектонических нарушений на блоки. Они также прорваны интрузивными и субвулканическими телами разного состава. Дно Щапинского грабена сложено осадочными (флювиогляциальными, аллювиальными, озерными) отложениями и вулканическими породами познеплейстоценового - голоценового возраста. Активный вулкан Кизимен, расположенный на разломе в зоне сочленения дна Щапинского грабена и борта горста хр.Тумрок, сложен голоценовыми вулканитами (лава и пирокластика риолито-дацитового и андезито-базальтового составов) (Шанцер и др., 1973).

Методика работ и химический состав термальных вод

Отбор проб на общий химический состав Верхне-Щапинских терм проводился в ноябре 2007 года. Опробование было сконцентрировано на участке основной разгрузки. Пробы для химического анализа отбирались в пластиковые бутылки объемом 0.5 л без подкисления. Параметры, являющиеся нестабильными (рН, Eh, электропроводность и температура), измерялись непосредственно на месте отбора с помощью карманных измерительных приборов фирмы HANNA (Combo pH&EC и ORP&°C/°F). Общий химический анализ проб воды выполнялся в ЦХЛ ИВиС ДВО РАН стандартными методиками. Титриметрией определялись Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , пламенно-фотометрическим методом - Na^+ , K^+ , электрометрическим - HCO_3^- , F^- , H_3BO_3 , фотоколориметрией - H_4SiO_4 .

Химический состав Верхне-Щапинских терм представлен в таблице. Анализируя полученные данные, можно отметить, что воды имеют нейтральную реакцию, рН близкое к 7. Температура варьирует от 28 до 50°C, а минерализация достигает 4.5 г/л. Основные макрокомпоненты, формирующие химический состав воды, содержатся в следующих соотношениях $Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{2-}$, $Na > Ca > Mg$. Максимальное содержание хлора колеблется в пределах 1.3-1.4 г/л, натрия – 1.0-1.1 г/л. Наиболее характерные отношения натрия к хлору - 0.7-0.8. Особенностью Верхне-Щапинских терм является высокое содержание бора (до 0.380 г/л H_3BO_3 , максимальные значения для Камчатки) и повышенное содержание кремнекислоты (до 0,2 г/л), что характерно для различных типов вод полуострова.

Проведенный корреляционный анализ выявил сильные прямые связи между концентрациями отдельных компонентов в термальных водах. Так, в термах четко обособливается группа связанных как между собой элементов Cl^- ($r=0.986-0.99$) Na^+ ($r=0.98-0.99$), K^+ ($r=0.94-0.99$), B ($r=0.94-0.98$), так и с величиной общей минерализации ($r=0.92-0.96$) и с температурой ($r=0.79-0,85$). Значительные прямые связи наблюдаются также между SO_4^{2-} и Ca^{2+} ($r=0.96$) и обратные - между этими элементами и рН ($r=0.80-0.82$). Полученные данные свидетельствуют о единстве глубинной составляющей для всех источников и отражают общность условий их миграции.

Для определения степени взаимодействия термальных вод с породами с помощью программного пакета AquaChim 5.1 рассчитаны индексы насыщения (Log AP/КТ) вод по отношению к различным минералам. Исследуемые Верхне-Щапинские термы перенасыщены по отношению к силикатам (кварц, халцедон) и недонасыщены по отношению к ангидриту, флюориту, галиту. По мере возрастания температуры индексы насыщения возрастают, и если при низких температурах воды являются недонасыщенными по отношению к карбонатам (арагонит, кальцит, доломит), то при максимальных температурах в термальных водах указанные минералы переходят в перенасыщенное состояние

Таблица. Химический состав Верхне-Щапинских термальных вод.

номер пробы	t	pH	Eh	SEC	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	F ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	H ₄ SiO _{4p}	H ₄ SiO _{4к}	H ₃ BO ₃	М общ.	Тип вод
	°C		mV	uS/cm	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	г/л	
ТМ-1/07	47.0	6.72	162	6280	72.5	1047.4	152.3	41.3	1382.9	0.33	307.4	872.5	204.6	11.4	340.3	4.44	Na-Cl-HCO ₃
ТМ-2/07	34.1	7.18	148	3240	39.8	518.4	80.2	24.3	709.5	0.26	192.1	486.9	150.0	48.0	164.8	2.41	Na-Cl-HCO ₃
ТМ-3/07	48.5	6.71	142	6340	75.2	1026.2	152.3	41.3	1436.1	0.31	307.4	867.7	199.0	79.0	353.1	4.54	Na-Cl-HCO ₃
ТМ-4/07	35.0	6.66	206	1920	23.8	277.8	68.1	17	354.6	0.23	96.1	335.6	118.6	43.4	94.2	1.43	Na-Cl-HCO ₃
ТМ-5/07	50.0	6.79	185	5750	75.2	1004.9	160.3	43.8	1329.8	0.27	288.2	862.8	194.4	39.6	335.5	4.33	Na-Cl-HCO ₃
ТМ-6/07	43.8	6.97	175	5320	70.7	920.0	156.3	43.8	1294.3	0.24	269.0	814.0	167.6	31.8	317.8	4.09	Na-Cl-HCO ₃
ТМ-7/07	43.8	7.11	185	5200	70.7	920.0	140.3	38.9	1276.5	0.24	288.2	784.7	156.6	67.4	335.5	4.08	Na-Cl-HCO ₃
ТМ-8/07	42.7	6.89	149	6540	81.9	1111.1	150.3	40.1	1498.2	0.31	307.4	911.6	174.0	69.4	382.5	4.73	Na-Cl-HCO ₃
ТМ-9/07	30.8	6.9	195	6270	21.4	240.6	60.1	14.6	283.7	0.23	96.1	335.6	96.8	42.0	79.4	1.27	Na-Cl-HCO ₃
ТМ-10/07	34.3	6.78	200	5650	17.4	184.0	17.4	14.6	230.5	0.21	86.4	296.5	89.0	68.4	61.8	1.10	Na-Cl-HCO ₃
ТМ-11/07	28.7	6.8	210	3440	67.7	941.2	136.3	31.6	1241.1	0.30	249.8	760.3	150.0	8.8	311.9	3.90	Na-Cl-HCO ₃
ТМ-12/07	28.8	6.69	28.8	4400	50.4	682.9	108.2	24.3	948.6	0.20	211.3	613.8	126.0	52.8	229.5	3.05	Na-Cl-HCO ₃

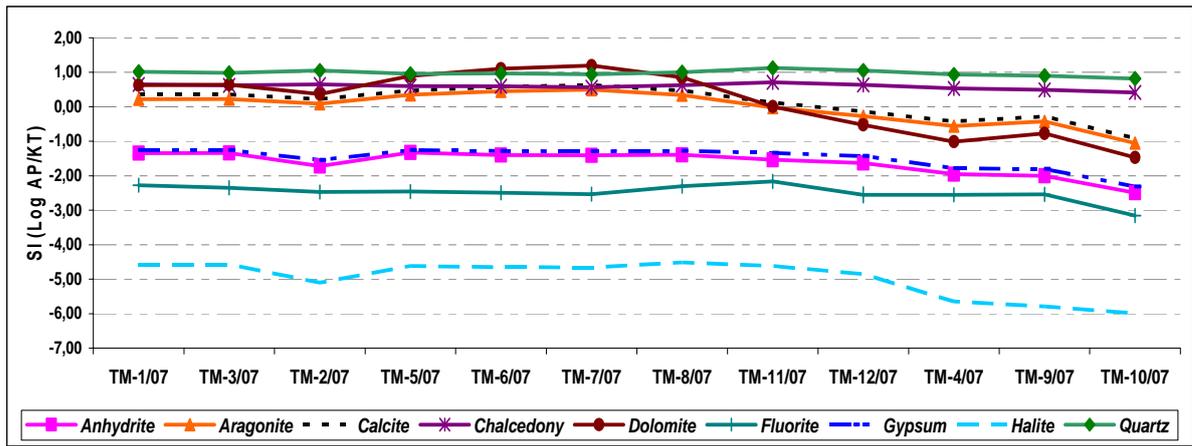


Рис. 2. Индексы насыщения (Log AP/KT) Верхне-Щапинских термальных вод.

то есть способны осаждаться из раствора (рис. 2). Полученные данные хорошо соотносятся с обстановкой в районе - осадки Верхне-Щапинских источников представлены карбонатно-кремневыми травертинами (Кирсанова, Юрова, 1986¹)

На треугольной диаграмме Пайпера (рис. 3а) представлен химический состав основных групп термопроявлений, встречающихся в долине р Левая Щапина (рис. 1). Данные о составе Нижне-Щапинских, Беловских, Верхне-Беловских и Больше-Иульских термальных источников заимствованы из отчета (Кирсанова, Юрова, 1986¹). По составу основных анионов и катионов Верхне-Щапинские и Беловские термы близки между собой, но при этом Беловские источники имеют более четко выраженный хлоридный натриевый состав. Они также имеют сходные значения pH, температуры и общей минерализации. Нижне-Щапинские источники попадают в поле гидрокарбонатных натриево-магниевых вод. По сравнению с Верхне-Щапинскими термами они имеют более низкую температуру (24-35°C), выше значение pH (7.5-8.0) и меньшее количество растворенных солей ($M_{\text{общ.}}$ 0.6-2 г/л). Особенностью этих вод является отсутствие (или минимальное значение) сульфат-иона. Отдельной группой расположены кислые (pH 2.5-4) Верхне-Беловские и Больше-Иульские источники. Среди анионов в этих водах преобладает SO_4^{2-} , среди катионов – Ca^{2+} . Максимальная минерализация достигает 2.45 г/л. Температура варьирует от 10 до 20°C.

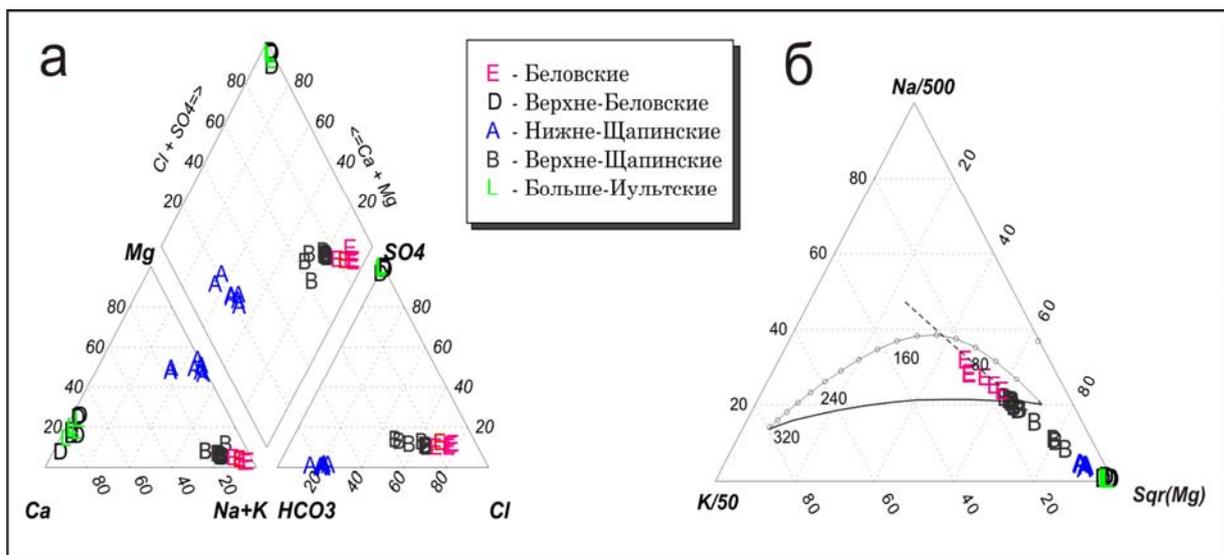


Рис. 3. Химический состав (а) и диаграмма У. Гигенбаха для термальных вод долины р. Левая Щапина.

Для того, чтобы оценить условия формирования вод, были рассчитаны глубинные температуры термальных вод, с использованием различных геотермометров. Определение пригодности катионных геотермометров проводилось с помощью графической палетки У.Гиггенбаха (рис. 3б), на которой изображены данные по термальным водам Щапинского грабена. В зоне частичного равновесия, в температурном диапазоне 110-120°C находятся только Беловские термы. Для остальных групп термальных источников применение Na-K геотермометров не корректно, так как эти воды не являются насыщенными по отношению к этим компонентам. Расчеты по Si-геотермометрам (кварцевый, кварц-халцедоновый) для Верхне-Щапинских и Беловских имеют хорошую сходимость и дают температурный диапазон от 110 до 140°C.

Анализ изотопных данных ($\delta^{18}\text{O}$ и δD), проведенный Т.П. Кирсановой и Л.М. Юровой (1986¹), выявил тесную связь между метеорными и термальными водами. При этом наблюдаемые вариации изотопного состава (увлечение концентраций $\delta^{18}\text{O}$) термальных вод определяются их взаимодействием с вмещающими породами. Значительный сдвиг в Верхне-Щапинских источниках объясняется высокотемпературными (>200°C) условиями взаимодействия воды с породой.

Гидрохимическая модель формирования Щапинской гидротермальной системы

Термальные источники грабена р. Левая Щапина являются поверхностными проявлениями Щапинской гидротермальной системы. Данная система располагается в северо-восточной части Щапинского грабена, приуроченного к зоне сочленения Центральной Камчатской депрессии и системы горстантиклинальных поднятий Восточного хребта. Пространственно грабен совпадает с крупной дугообразной зоной растяжения, находящейся в стадии активизации с середины верхнего плейстоцена и контролировавшей внедрение ряда интрузий, одна из которых представляет собой большой плутон, сложенный кварцевыми диоритами. Предполагаемым источником тепла для системы является глубинный расплав, который способствовал внедрению больших объемов магмы, приведших к формированию эруптивных центров (т.н. конус Тамары) и комплекса интрузий, не имеющих вулканов, которые могли бы представлять экструзивные эквиваленты современных дацитовых интрузий (Шанцер и др., 1969). Водное питание системы в основном метеорное, сильная раздробленность вмещающих пород позволят проникать инфильтрационным водам на значительные глубины, а интрузивные комплексы помимо теплового питания, обеспечивают хлором, некоторыми газами и другими элементами. Образованные хлоридные гидротермы поднимаются к поверхности. Кипение их происходит на малых глубинах в ответ на спад давления, в результате чего в субповерхностных горизонтах образуются зоны двухфазного теплоносителя (Hedenquist, 1988). Смешение восходящего потока хлоридных гидротерм с подземными водами зоны аэрации приводит к снижению температуры и общей минерализации и формированию горячих термальных источников хлоридного состава (Верхне-Щапинские и Беловские источники). Растеки гидротерм следующие по структурам растяжения в условиях интенсивного разбавления и понижения температуры за счет длительного взаимодействия с холодными подземными водами приводят к формированию нейтральных гидрокарбонатных гидротерм на более низких гипсометрических уровнях (Нижне-Щапинские источники). Гидротермальные системы, подобные Щапинской, относятся к Кордильерному типу (Lawless, 1993). Аналогом Щапинской гидротермальной системы может служить Налычевская гидротермальная система (Камчатка), Тонгонан (Филиппины) и др.

Авторы выражают глубокую признательность Ф.А. Фарберову за помощь в отборе проб и представленный фотоматериал.

Список литературы

- Кирсанова Т.П., Юрова Л.М.* Термальные источники Щапинского грабена // Вопросы географии Камчатки. 1982. № 8. С. 59-66.
- Комаров В.Л.* Избранные сочинения Том 6. М:Издательство АН СССР, 1950, 528 с.
- Петров В.С.* Современная сольфатарная деятельность вулкана Кизимен // Вопросы географии Камчатки. 1970а. № 6. С. 124-129.
- Петров В.С.* Термальные источники хребта Тумрок (Восточная Камчатка) и минеральные отложения в них // Минералогия гидротермальных систем Камчатки и Курильских островов. М.: Наука, 1970 б. С.144-157.
- Пийп Б.И.* Термальные ключи Камчатки. Л: Изд. Ак. Наук СССР, 1937. С.183-190.
- Шанцер А.Е., Гептнер А.Р., Егорова И.А. др.* Вулканогенные толщи хребта Тумрок, их палеомагнитная характеристика и возраст // Известия АН СССР. Серия геологическая. 1969. № 9. С. 73-83.
- Шанцер А.Е., Кутыев Ф.Ш., Петров В.С.* Вулкан Кизимен //Бюллетень вулканологических станций. 1973. № 4. С. 29-36.
- Hedenquist J.* Epithermal gold mineralisation. Wairakei, New Zealand. 1988. 360 p.
- Lawless J.V.* Variations in types of geothermal system with geological setting around the Pacific Rim, in: Islands and basins: correlation and comparison of onshore and offshore geology. G.E. Whiller (Ed.). SOPAC Miscellaneous Report 159. 1993. 22 p.