

Физико-химические характеристики азотных термальных источников бассейна реки Кыра (Юго-Восточное Забайкалье)¹

По химическому составу термы исследованных Улурийского (Двенадцать ключей), Кыринского и Былыринского источников гидрокарбонатные натриевые. Максимальные температуры их в период опробования (март 2010 г.) были соответственно 28,2, 43,5 и 44,3 °С, наибольшая минерализация (по сумме ионов) – 263, 247 и 213 мг/л. Для источников характерны высокие концентрации H_4SiO_4 (127–166 мг/л) и F (9,5–13,8 мг/л). Термы всех источников щелочные (рН 9,12–0,0), слабо радоновые (6,5–10,9 нКи/л), первых двух – слабо сероводородные (HS^- 0,8–1,0 мг/л). Водолечебница на Былыринском источнике законсервирована, Улурийский источник активно используется населением для самостоятельного лечения.

Ключевые слова: азотные термы, химический состав, кремнекислота, фтор, радон, сероводород.

*L. V. Zamana,
Sh. A. Askarov*

Physical and Chemical Indexes of Nitrogen Thermal Springs of River Kyra Basin (South-Eastern Zabaikalye)

Chemical composition of the investigated Uluri (Twenty Springs), Kyra and Bylyra thermal springs is bicarbonate sodium. At time sampling (March 2010) their maximum temperature was 28,2, 43,5 and 44,4 °C respectively, the highest ion amounts were 263, 247 and 213 mg/l. The springs are characterized by high concentrations of H_4SiO_4 (127–166 mg/l) and F (9,5–13,8 mg/l). Water of all springs is alkaline (pH 9,12–0,0), low radon (6,5–10,9 nC/l) and that of Uluri and Kyra is low hydrogen sulfide (0,8–1,0 mg/l). The Bylyra hydrothermal establishment is closed; Uluri spring is widely used for non-medical treatment.

Key words: nitrogen thermal springs, chemical composition, silicon acid, fluorine, radon, hydrogen sulfide.

Азотные термальные воды распространены в зонах альпийской складчатости и кайнозойской тектономагматической активизации. В границах Прибайкалья и Забайкалья основная масса их выходов на дневную поверхность (около 50 источников) сосредоточена в Байкальской рифтовой зоне (БРЗ), от 6 до 9 источников, по разным данным, известно на северо-востоке Хэнтэй-Даурского сводового поднятия в Ингодино-Чикойском термоминеральном районе. Эти территории входят в состав провинции азотных терм, в свою очередь принадлежащей глобальной структуре Средиземноморско-Монголо-Охотского пояса, вытянутого в субширотном направлении от Пиренеев до Тихого океана.

Азотные термальные воды формируются в зонах тектонических разломов, секущих кристаллические породы, в единичных случаях термы приурочены к разломам, проникающим также в мезозойский осадочный чехол. В составе водовмещающих пород доминируют алюмосиликатные, преимущественно гранитоиды, карбонатные породы на территории развития терм представлены ограниченно.

¹ Работа выполнена при поддержке интеграционного проекта СО РАН и ДВО РАН № 87 «Геохимия и источники вещества термальных вод Сибири и Дальнего Востока».

Максимальная температура терм в БРЗ достигает, по последним данным, 83,7 °С в Могойском источнике (бассейн р. Ципа, левого притока р. Витим) [5]. Глубинные температуры терм, рассчитанные по гидрохимическим геотермометрам, определены в 32–151 °С [1]. Сами глубины, с которых вода поднимается к поверхности, оцениваются в 4–6 км [8].

Отличительными особенностями термальных вод рассматриваемого типа являются низкая минерализация (в подавляющем большинстве до 1 г/л), почти исключительно натриевый состав катионов, щелочная реакция, преобладание в газовом составе азота, значительные концентрации кремнекислоты, фтора, ряда металлов (вольфрам, молибден, германий и др.).

Исследования термальных источников, начатые в Забайкалье во времена экспедиций И. Г. Георги и П. С. Палласа (1772–1774 гг.), до середины прошлого века имели в основном бальнеологическую направленность. С конца 1950-х гг. в течение последующих двух-трех десятилетий наряду с разведкой месторождений для курортного строительства широкий размах приобрели геохимические и генетические направления изучения термальных вод, итогом которых стал ряд обобщающих работ [8 и др.]. После определенного перерыва геохимические исследования термальных вод возобновились, теперь уже на новой теоретической и приборно-аналитической базах. К сожалению, основное внимание, как и прежде, сосредоточено на термах Байкальской рифтовой зоны, изученность источников в бассейне р. Кыра остается на уровне 1960-х гг.

Основная цель настоящего сообщения – дать доступные для краеведения и специальных геолого-геохимических обобщений современные сведения по химическому и микрокомпонентному составу термальных источников Хэнтэй-Даурского свода, представляющего собой, в отличие от БРЗ, коллизийную структуру. Азотные термы в силу их приуроченности к глубоким тектоническим разломам могут содержать информацию о сходстве и различиях этих структур с различным геодинамическим режимом.

Исследованные источники находятся на водосборах р. Кыра и ее левого притока р. Былыра, входящих в речную сеть верхнеамурского бассейна. Местоположение их приведено в табл. 1. Источники удалены друг от друга на 13–15 км (по прямой) и приурочены к пересечениям тектонических разломов, секущих роговообманково-биотитовые и лейкократовые среднеюрские граниты. Основная разгрузка на разведанном Былыринском источнике с утвержденными ГКЗ СССР запасами в количестве 330 м³/сут. идет через самоизливающую скважину (табл. 2, проба 9), другие источники представлены естественными выходами [10].

Таблица 1

Местоположение термальных источников в бассейне р. Кыра

Источник	Местоположение	Координаты		Абс. отметка, м
		с.ш.	в.д.	
Улурийский (верхние)	В верховье р. Кыра на левом склоне долины, в 3 км	50°08,776'	111°38,178'	1320
Улурийский (нижние)	выше устья р. Урла	50°08,692'	111°37,874'	1206
Кыринский	Долина р. Кыра в 3 км выше устья р. Одырей	50°01,710'	111°32,314'	1102
Былыринский	На правом склоне долины ручья Арашантуй	50°01,342'	111°43,527'	1172

На Улурийском источнике, известном также под названием «Двенадцать ключей», на период обследования (март 2010 г.) разгрузка терм была сосредоточена в шести выходах, по три в верхней и нижней группах (пробы соответственно 1–3 и 4–6), удаленных друг от друга на 300–400 м. Дебиты отдельных головок изменялись от менее 0,1 до 0,5 л/с, суммарный расход источника не превышал 1,3–1,5 л/с. Часть головок пересохла, со слов

постоянных посетителей, расход источника был меньше обычного. Выходы верхней группы с запахом сероводорода, в нижних выходах запах слабый. Вода наиболее высокотемпературного выхода (проба 2) используется для бальнеологических процедур. Для этого оборудована небольшая баня с одной ванной. Ванны принимаются без врачебного контроля. На источнике построено 8 деревянных домов, в зимний период постоянно занятых. Одновременно бывает 25–30 человек. Заезд осуществляется или через Былыринский источник по бездорожью (23 км), или по р. Кыра от с. Былыра, когда прекращается образование на реке наледей (начало марта). На источнике многочисленные благодарственные таблички, наиболее старые относятся к началу прошлого века.

Кыринский источник находится в 22 км ниже по реке от Улурийского, выходит в русле реки под левым берегом, в летний период затапливается. Над основным выходом (проба 7, табл. 2) с расходом 3–4 л/с построен сруб, который на лето разбирается. В 20–25 м ниже вдоль берега – второй площадной выход (проба 8) среди речных валунов. Температура воды в отдельных струях в нем от 10–12 до 29,0 °С. Ощущается запах сероводорода. Развиты обильные бактериальные образования, особенно в виде белых нитчатых форм. На валунах выбиты благодарности за излечение, наиболее старая датирована 1876 г.

На Былыринском источнике кроме основной скважины опробован естественный выход (проба 10) и также самоизливающаяся малodeбитная скважина (проба 11) в 60–70 м выше по склону. Дебиты скважин на изливе около 1,0 и 0,1 л/с, источника – 0,3–0,4 л/с. Запах сероводорода не ощущается, в месте разгрузки и особенно в 200–250 м ниже по стоку – обильные зеленые цианобактериальные маты. На источнике до 2008 г. функционировала сезонная бальнеолечебница, в настоящее время в связи со сменой собственника законсервирована, территория охраняется. Ближайший населенный пункт пос. Надежный (несколько жилых домов) находится в 12 км, от трассы на с. Кыру до источника 64 км. Проезд доступен круглогодично, хотя в дождливую погоду затруднен.

Данные по химическому и микроэлементному составу (табл. 2) получены в сертифицированной лаборатории Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН (аналитики С. В. Борзенко, Т. Г. Смирнова, Т. Е. Хвостова). Используются методы потенциометрического титрования (CO_3^{2-} и HCO_3^-), турбидиметрии (SO_4^{2-}), колориметрии (H_4SiO_4), ионоселективной потенциометрии (pH, Eh, Cl^- , F^-), атомной абсорбции в пламенном (основные катионы) и электротермическом (остальные металлы) вариантах. Пробы фильтровались через «синюю ленту». Анализы проб методом индуктивно-связанной плазмы (табл. 3) выполнены в Лимнологическом институте СО РАН (г. Иркутск, аналитик Е. Н. Воднева) на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7500. Пробы на точках профильтрованы через мембранные фильтры.

По химическому составу термы рассматриваемых источников являются исключительно гидрокарбонатными натриевыми, доля сульфатного иона в них не превышает 19,2 %-экв. Поскольку гидрокарбонатный состав терм связывается с верхней гидрохимической зоной, он указывает на относительно небольшие глубины их формирования, что подтверждается и невысокими температурами [8]. Максимальные их значения падают с повышением абсолютных отметок выходов, что, однако, обусловлено не разной глубиной циркуляции терм, а охлаждающим влиянием вмещающих пород в верхней части геологического разреза, в том числе многолетней мерзлотой. Показательны в этом отношении температуры по Улурийскому источнику, падение которых до характерных для вод зоны гипергенеза происходит при относительно незначительном снижении концентрации кремнекислоты и фтора, существенно превышающей их значения для вод неглубокого формирования.

Таблица 2

Физико-химические характеристики термальных источников
(CO₃²⁻-H₄SiO₄ – мг/л, Al–Ag – мкг/л. *M – сумма ионов)

Показатель	Номера проб										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
T, °C	21,50	28,20	24,30	12,20	10,10	4,40	43,50	29,00	44,30	39,00	21,30
Eh, mv	-198	-198	-166	-174	-180	-164	-236	-117	-39	-48	-37
pH	9,82	9,76	9,63	10,00	9,76	9,84	9,54	9,44	9,12	9,22	9,42
CO ₃ ²⁻	25,50	22,50	22,50	22,50	22,50	22,50	18,00	15,00	12,00	12,00	12,00
HCO ₃ ⁻	88,50	64,10	76,30	67,10	67,10	58,00	91,50	91,50	91,50	85,40	82,40
SO ₄ ²⁻	27,10	23,20	24,50	18,10	27,90	31,60	28,90	26,50	16,70	12,10	12,70
Cl ⁻	14,20	13,60	13,80	13,00	13,20	13,60	14,90	13,80	10,40	9,80	9,50
F ⁻	13,76	13,76	13,80	13,14	12,55	13,10	9,97	9,52	10,44	9,52	9,97
Ca ²⁺	0,60	0,62	0,58	0,83	0,93	1,09	0,67	0,74	0,74	0,67	0,64
Mg ²⁺	0,17	0,01	<0,01	0,26	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	<0,01	<0,01
Na ⁺	89,80	80,90	81,90	72,20	75,50	73,90	81,10	76,90	69,80	67,60	67,10
K ⁺	1,64	1,65	1,58	1,42	1,11	1,08	1,77	1,53	1,41	1,24	1,19
*M	263,10	220,40	235,00	208,50	220,90	214,9	246,90	235,50	213,00	198,30	195,50
H ₄ SiO ₄	166,30	163,90	161,20	156,00	146,40	140,6	128,6	132,40	128,60	129,30	127,20
Al	45,90	38,30	41,50	25,50	33,20	34,60	38,10	44,20	27,00	39,30	34,90
Fe	16,70	17,50	7,20	13,30	15,30	13,90	18,20	25,40	23,50	16,70	11,90
Mn	2,32	4,48	0,76	0,84	0,87	1,28	1,57	1,24	1,62	1,69	1,03
Cr	0,68	<0,07	0,37	0,62	0,55	0,67	0,91	0,90	0,88	0,75	0,76
Cu	1,92	0,44	0,98	19,40	10,60	0,92	1,50	0,92	23,80	0,61	0,48
Pb	0,10	0,33	0,98	1,44	1,64	0,38	0,30	0,25	1,92	0,25	0,21
Zn	1,71	1,77	1,84	1,83	0,71	1,84	1,83	1,78	1,8	1,47	1,75
Ni	0,52	0,51	0,47	0,40	0,41	0,31	0,28	1,06	0,48	0,28	0,05
Co	<0,30	0,44	<0,30	0,26	<0,30	0,06	<0,3	<0,30	0,16	0,06	0,09
As	1,52	1,26	1,12	0,55	0,09	1,00	0,86	<0,52	0,06	<0,52	<0,52
Ag	0,07	0,05	0,07	0,17	0,15	0,10	0,08	0,10	1,15	0,10	0,12

Таблица 3

Содержание микроэлементов (мкг/л) в термах Кыринской группы по данным анализа ICP-MS

Элемент	Предельная обнаруживаемость	*Sr, %	Номера проб (как и в табл. 2)										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Li 7	0,14	4,2	267	283	278	307	246	251	242	213	357	367	341
B 11	0,315	6,8	173	176	213	200	206	213	470	463	298	299	257
Ge 74	0,0061	13,2	10,00	9,26	10,31	11,51	10,06	10,51	15,95	13,13	8,20	7,88	8,13
As 75	0,023	1,0	94,1	93,8	88,5	100,0	84,6	95,8	42,3	40,5	205,3	182,7	198,6
Br 79	1,02	2,6	37	54	55	77	80	75	70	81	78	72	67
Rb 85	0,010	2,9	20,08	20,77	23,07	15,39	14,29	13,06	25,56	20,18	19,51	19,13	17,90
Sr 88	0,08	2,5	26	22	23	18	17	22	70	68	34	36	35
Mo 95	0,025	1,4	19,0	19,6	19,2	20,5	19,5	19,3	15,0	14,1	30,5	32,4	29,0
Cd 111	0,005	7,3	0,128	0,447	0,078	0,149	0,068	0,069	0,384	0,062	0,062	0,077	0,079
Sb 121	0,013	5,6	18,5	20,0	23,0	19,1	19,8	19,9	6,9	5,7	4,6	4,5	3,2
Cs 133	0,0010	8,7	28,63	30,34	30,14	15,71	12,45	12,15	32,67	26,39	36,81	38,43	35,19
Ba 135	0,03	2,9	0,6	0,6	0,4	0,5	0,4	0,4	0,8	0,9	0,5	0,7	0,3
W 184	0,011	8,4	115	121	134	143	118	137	146	143	154	150	152
Th 232	0,0004	42,0	0,0087	0,0075	0,0033	0,0151	0,0021	0,0040	0,0024	0,0053	0,0020	0,0055	0,0044
U 238	0,0010	4,5	0,11	0,12	0,12	0,28	0,51	0,71	0,01	0,06	0,26	1,23	3,06

*Стандартное отклонение.

Аномальный уровень концентрации фтора в термах, как и насыщение их по флюориту, было одним из аргументов эндогенной его природы [8 и др.]. Другие авторы, признавая источником фтора в термах вмещающие породы, считали, что аномальные концентрации его в азотных термах определяются высоким содержанием в породах [7 и др.]. По нашему мнению, обогащение азотных терм происходит при фоновом (кларковом) уровне фтора в породах, что установлено и по району развития рассматриваемых терм. По ранее выполненным исследованиям, концентрация фтора в грунтовых водах вмещающих термы гранитов не превышала 0,3 мг/л. На гранитах с превышающим кларковый уровень (0,08 %) содержанием (до 0,2–0,3 %), как установлено по другим районам, формируются воды с концентрацией фтора до 3–3,5 мг/л [2]. На обогащение терм фтором определяющее влияние оказывает замещение его группой OH^- в слюдах, как основных минералах-носителях F, а также температура вод [3]. Несмотря на высокую фтороносность, рассматриваемые термы все не насыщены по флюориту – произведения молярных концентраций фтора и кальция ниже произведения растворимости флюорита (рис. 1), в то время как около четверти терм БРЗ по флюориту пересыщены [4].

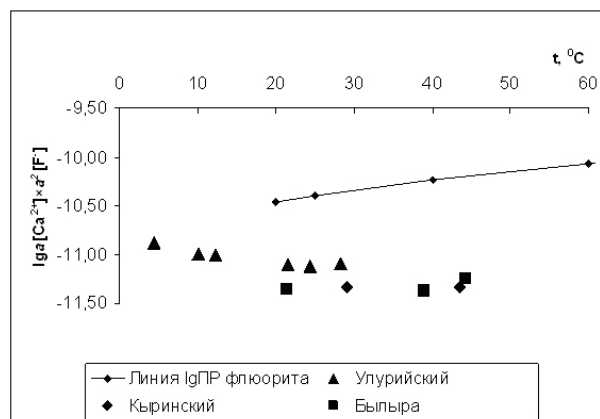
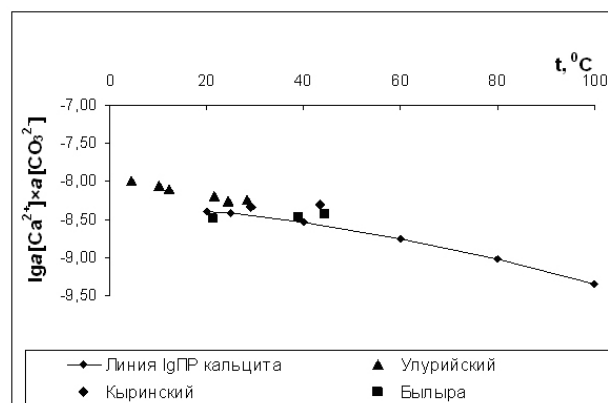


Рис. 1. Соотношение произведений растворимости флюорита и молярной концентрации фтора и кальция



Данные анализов методом ICP-MS подтверждают повышенные концентрации типоморфных для терм микроэлементов (Li, B, Ge, Mo, W), а также показывают аномальный уровень содержания мышьяка и сурьмы (табл. 3). Последнее связано, возможно, с геохимической специализацией гранитов. Особенности их состава объясняется, по всей вероятности, и изотопный состав серы растворенных в термах сульфатов. По результатам выполненных в Аналитическом центре Дальневосточного геологического института ДВО РАН определений, по отношению к океаническому стандарту сульфатная сера Улурийского источника имела состав $\delta^{34}\text{S}$ 1,4 ‰, Кыринского – 10,2 ‰ и Былыринского – 5,1 ‰. Термы Баунтовской группы в БРЗ, к примеру, имели более тяжелый состав сульфатной серы – от 14,5 до 36,2 ‰ [6].

Таким образом, изученные источники Хэнтэй-Даурского сводового поднятия характеризуются исключительно карбонатно-гидрокарбонатным составом анионов, являются низкотемпературными, высокощелочными, обогащены кремнекислотой и фтором относительно подобных по температурным характеристикам источников Байкальской рифтовой зоны, но при этом не насыщены по флюориту. Отличаются они и более легким изотопным составом сульфатной серы, как и обогащенностью некоторыми микроэлементами, что, по всей вероятности, определяется не разным геодинамическим режимом территорий распространения терм, а геохимической спецификой вмещающих пород.

Список литературы

1. Голубев В. А. Тепловые и химические характеристики гидротермальных систем Байкальской рифтовой зоны // Сов. геология. 1982. № 10. С. 100–108.
2. Замана Л. В. Фторидные воды Забайкалья // Доклад АН СССР. 1990. Т. 315. № 5. С. 1230–1235.
3. Замана Л. В. Фтор в азотных термах Забайкалья // Геология и геофизика. 2000. Т. 41. № 11. С. 1575–1581.
4. Замана Л. В. Кальциевые минеральные равновесия азотных терм Байкальской рифтовой зоны // Геохимия. 2000. № 11. С. 1159–1164.
5. Замана Л. В., Аскарлов Ш. А. Фтор в азотных термах Баунтовской группы (Северное Забайкалье) // Вестник Бурятского гос. ун-та. 2010. Вып. 3. Химия, физика. С. 12–18.
6. Изотопы сульфидной и сульфатной серы в азотных термах Баунтовской группы (Забайкалье) / Л. В. Замана [и др.] // Доклад АН. 2010. Т. 435. № 3. С. 369–371.
7. Крайнов С. Р., Швец В. М. Основы геохимии подземных вод. М.: Недра, 1980. 285 с.
8. Ломоносов И. С. Геохимия и формирование современных гидротерм Байкальской рифтовой зоны. Новосибирск: Наука, 1974. 168 с.
9. Костяков Н. П., Шулика В. И. Государственная геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Сер. Восточно-Забайкальская. Лист М-49-XVI. Объяснительная записка. М., 1981. 106 с.
10. Минерально-сырьевые ресурсы / В. С. Чечеткин [и др.] // Геологические исследования и горнопромышленный комплекс Забайкалья: история, современное состояние, проблемы, перспективы развития. К 300-летию основания Приказа рудокопных дел. Новосибирск: Наука, 1999. С. 147–225.