

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И МЕТАЛЛОНОСНОСТЬ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО СИХОТЭ-АЛИНЯ (ДАЛЬНИЙ ВОСТОК)

Б.С. Архипов

Дальневосточный региональный центр государственного мониторинга состояния недр, г. Хабаровск

Поступила в редакцию 20 мая 2008 г.

Изучено распространение щелочных азотных гидротерм на северо-восточном Сихотэ-Алине. Дается сравнительная характеристика газового, химического и микрокомпонентного состава термальных вод Лазаревской группы источников, Тумнинского и Анненского месторождений. Анализируются причины изменения химического состава гидротерм на участках их эксплуатации.

Ключевые слова: азотные гидротермы, химический состав, металлоносность, водоотбор, Сихотэ-Алинь, Дальний Восток.

ВВЕДЕНИЕ

На протяжении продолжительного периода времени сведения о химическом составе и металлоносности термальных вод северо-восточного Сихотэ-Алиня базировались на данных, полученных в 50–80-х годах прошлого столетия при обследовании горячих источников и последующей разведке Анненского и Тумнинского месторождений термальных вод. Ограниченные возможности химико-аналитических методов исследований этого периода не позволяли с необходимой достоверностью оценить качественные и количественные параметры микрокомпонентного состава азотных щелочных кремнистых терм. Во время эксплуатации указанных месторождений основное внимание уделялось химическим показателям, определяющим бальнеологические свойства и санитарные показатели воды, поэтому микрокомпонентный, а порой и общий химический состав термальных вод изучался в объеме, недостаточном для оценки изменения качества воды в процессе длительного техногенного воздействия.

Новые сведения, полученные во время обследования двух термальных источников Лазаревской группы [1] и эксплуатируемых месторождений в течение 2003–2006 гг., позволили выполнить сравнительный анализ газового, химического и микрокомпонентного состава наиболее изученных проявлений термальных вод северо-восточного Сихотэ-Алиня (рисунок), расположенных в пределах Прибрежной провинции азотно-метановых термальных вод [4].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анненский термальный источник. Интенсивная эксплуатация термальных вод приводит к изменению их качества. Данные химических анализов воды из эксплуатационных скважин бальнеолечебницы “Анненские воды” за 2002 год свидетельствуют, что в результате длительного отбора воды химический состав ее, при практически стабильной минерализации (0.26–0.3 г/дм³), претерпел изменение. По сравнению с результатами анализов, полученными в начале шестидесятых годов прошлого века [2], соотношение катионов и анионов, определяющих формулу химического состава воды, изменилось. Суммарное содержание карбонатов и гидрокарбонатов увеличилось с 59–67 % мг-экв до 72–77 % мг-экв; концентрация сульфатов уменьшилась с 24–27 % мг-экв до 9–11 мг-экв, а хлора – выросла с 3–6 % мг-экв до 9–11 % мг-экв. В катионном составе термальных вод, где ранее превалировал натрий (90–94 % мг-экв), наметилась тенденция замещения его магнием (40–56 % мг-экв) и кальцием (9–13 % мг-экв). Таким образом, ранее сульфатно-гидрокарбонатный натриевый тип Анненских терм преобразовался в гидрокарбонатный натриево-магниевый и магниевонатриевый.

Концентрация кремнекислоты (91.17 мг/дм³) сохранилась на уровне 60-х годов (76.6–106.0 мг/дм³), а фтора – немного уменьшилась – 2.5 мг/дм³ (среднее значение за 1993–2007 годы), по сравнению с 3.0 мг/дм³ в 1962 г.

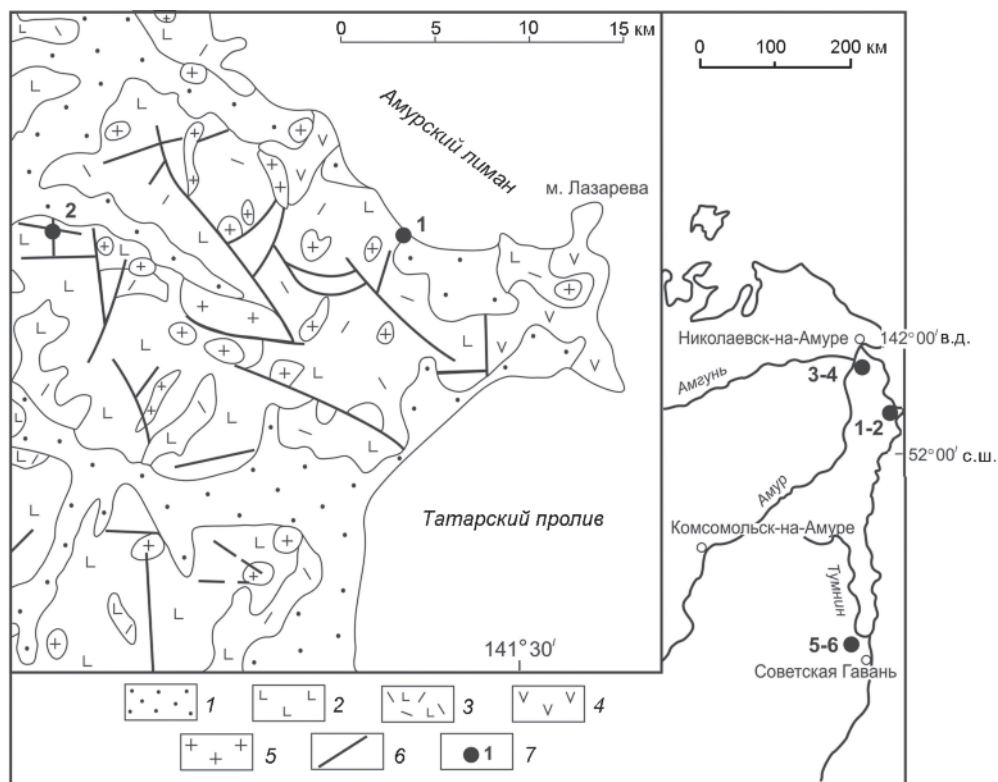


Рис. Схема расположения выходов термальных вод северо-восточного Сихотэ-Алиня и схематическая геологическая карта размещения термальных источников Лазаревской группы.

1 – плиоцен-четвертичные рыхлые отложения, 2 – миоценовые базальты, 3 – палеогеновые риолиты и базальты, 4 – меловые андезиты, 5 – палеогеновые граниты, 6 – тектонические нарушения, 7 – термальные источники: Лазаревский (1), Чомэнский (2), Анненские (3), Инка (4), Тумнинский (5), Теплый ключ (6).

Тумнинской термальный источник. Аналогичная ситуация наблюдается на Тумнинском месторождении термальных вод, где изначально сульфатно-гидрокарбонатный натриевый состав воды горячих источников в процессе эксплуатации скважин изменился на гидрокарбонатный натриевый с суммарным содержанием карбонатов и гидрокарбонатов – 85 % мг-экв, сульфатов – 12 % мг-экв, натрия – 92 % мг-экв и кальция – 8 % мг-экв. Величина общей минерализации осталась на прежнем уровне – 0,2 г/дм³.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что сульфатная составляющая Анненских и Тумнинских термальных вод, формирующаяся на глубинах больших, чем зона их эксплуатации, была обеспечена только в условиях естественной разгрузки. Нарушение этих условий, вызванное длительной, интенсивной эксплуатацией месторождений с преобладающим отбором горячей воды из приповерхностных участков зон тектонических нарушений, выводящих гидротермы на поверхность Земли, привело к час-

тичной компенсации водоотбора за счет привлечения гидрокарбонатных подземных вод водоносной зоны экзогенной трещиноватости. На этот же факт указывает повышение в Анненских гидротермах содержания магния и кальция, которые характерны для трещинных вод, циркулирующих в вулканогенных породах. Возможность изменения химического состава термальных вод в процессе их эксплуатации должна учитываться исследователями при оценке количественных параметров водоотбора в процессе утверждения эксплуатационных запасов лечебных термальных вод подобного типа.

Несмотря на некоторые различия, общий геолого-структурный план участков перечисленных выше проявлений термальных вод достаточно близок. Все они распространены в пределах областей новейших поднятий и приурочены к тектоническим нарушениям, секущим толщи разновозрастных вулканогенных пород, на контакте с интрузивами или вблизи от них, что предполагает возможность наличия такого контакта на глубине. В естественных условиях для выхо-

Таблица 1. Характеристика спонтанных и растворенных газов термальных вод, объемные %.

Газы	Лазаревский (источник, 2003 г)		Чомэнский (источник, 2003 г)		Тумнинское (скважина, 1986 г)		Анненское (скважина, 1959 г)
	спонтанные	растворенные	спонтанные	растворенные	спонтанные	растворенные	спонтанные
CH ₄	7×10 ⁻⁵	0.02	0.005	0.01	н.о.	н.о.*	1.6**
C ₂ H ₄	0	0	0	0	н.о.	н.о.	
C ₂ H ₆	0	0	0	0	н.о.	н.о.	
C ₃ H ₈	0	0.0003	0	0	н.о.	н.о.	
iC ₄ H ₁₀	0	0.0006	0	5×10 ⁻⁵	н.о.	н.о.	
nC ₄ H ₁₀	0.001	0.1	0	0.01	н.о.	н.о.	
CO ₂	1.4	10.3	0.5	2.1	1.99	1.02	11.14
O ₂	7.7	9.3	6.2	11.3	0.011	0.006	1.14
N ₂	90.9	80.2	93.3	86.4	96.97	84.05	86.12***
H ₂	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0.001	1.02	
Ar	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0.76	1.203	
He	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0.011	0.006	
H ₂ S	следы	н.о.	следы	н.о.	0.011	0.006	
Rn, нКи/л	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	-	4-6	

Примечание. * – состав газов не определялся, ** – CH₄ + тяжелые углеводороды, *** – N₂ + редкие газы.

дов горячих вод характерна экранированная разгрузка через аллювий. О косвенных признаках генетической приуроченности гидротерм северо-восточного Сихотэ-Алиня к интрузивным образованиям свидетельствуют вычисленные отношения Na/K (27–60) и Cl/F (5–33). По данным Л.Н. Барабанова и В.П. Дислера [2], для азотных термальных вод, связанных с интрузивами, характерны отношения Na/K более 20 и Cl/F – менее 27.

В газовом составе слабощелочных и щелочных гидротерм рассматриваемой территории преобладает азот. Содержание этого газа в спонтанных выделениях изменяется от 86.12 до 96.97 %, а в растворенном виде уменьшается до 80.2–86.4 % (табл. 1). В спонтанных газах содержание углекислого газа колеблется от 0.5 до 11.14 %, кислорода – составляет 0.011–7.7 %, а метана и тяжелых углеводородов – 0.001–1.6 %. Присутствие в газовых флюидах небольшого количества сероводорода ощущается по едва уловимому запаху в местах пульсирующих выходов струй газа.

Чомэнский и Лазаревский термальные источники. В составе газов, растворенных в воде Чомэнского и Лазаревского источников, концентрация свободной углекислоты достигает 2.1–10.3 %, кислорода – 9.3–11.3 %, а в выводимой скважиной Тумнинского профилактория – 1.02 % и 0.006 %, соответственно. Количество метана и тяжелых углеводородов в термальных источниках возрастает до 0.012–0.02 %, в основном, за счет тяжелых углеводородов. По всей видимости, разница концентраций свободно выделяющихся и растворенных газов, наблюдаемая в естественных и искусственных водопрооявлениях, обусловлена смешением вод, формирующихся на глубине, с водой приповерхностных участков земной

коры, обогащенных кислородом. На это указывает более высокое, по сравнению со спонтанными газами, содержание растворенного кислорода в гидротермах Лазаревской группы, разгружающихся через аллювий, и небольшие отклонения в концентрации углекислого газа и кислорода в водах Тумнинского месторождения, выводимых на поверхность при помощи скважин.

Химический состав термальных вод

В результате изучения радоновой составляющей Тумнинских гидротерм в конце 90-х годов прошлого века, была установлена их слабая радиоактивность (4–6 нКи/л). Дальнейшее изучение радоновой составляющей в процессе эксплуатации этого месторождения не проводилось. Сведения об изучении содержания радона на других проявлениях термальных вод северо-восточного Сихотэ-Алиня отсутствуют.

Как и большинство гидротерм рассматриваемого типа, термальные воды всех перечисленных выше проявлений и месторождений характеризуются незначительной минерализацией (0.17–0.3 г/дм³), высоким значением pH – 8.88–9.55, а также присутствием кремнекислоты в количестве 34.6–91.17 мг/дм³ и фтора – 0.33–3.2 мг/дм³ (табл. 2).

Незначительные различия в анионном и катионном составе, наблюдаемые в Анненских и Тумнинских гидротермах, по всей видимости, обусловлены смешением их с водами зоны свободного водообмена, циркулирующими в породах, различных по генезису и петрографическому составу. Именно в пределах этой гидродинамической зоны подземные воды с разнообразным сочетанием катионов являются своеобразным гидрогеохимическим барьером, на котором происходит частичное температурное и хи-

Таблица 2. Химический состав термальных вод.

Показатели химического состава	Лазаревский (ист., 2003 г)	Чомэнский (ист., 2003 г)	Тумнинское (скв., 2006 г)	Анненское (скв., 2003 г)
Минерализация (сухой остаток), г/дм ³	0.17	0.2	(0.16–0.17)	0.3
Гидрокарбонаты, мг/дм ³	65.88	78.8	18.3	136.2
Карбонаты, мг/дм ³	2.44	4.88	-	24.0
Сульфаты, мг/дм ³	6.0	10.0	3.0	16.0
Хлориды, мг/дм ³	10.61	10.61	10.9	11.97
Нитраты, мг/дм ³	0	0	0.4–1.3	0
Аммоний, мг/дм ³	0.7	0.6	0.1–0.16	0.1
Натрий, мг/дм ³	20.37	30.62	34.8	60.45
Калий, мг/дм ³	0.34	0.85	0.8	2.21
Кальций, мг/дм ³	7.99	4.71	2.4	9.6
Магний, мг/дм ³	0.19	0.23	0.8	18.06
Окисляемость перманганатная, мгО ₂ /дм ³	2.16	3.02	0.2–0.5	2.39
Кислотность (рН)	8.88	9.02	9.23–9.55	9.2
Фтор, мг/дм ³	0.38	0.6	0.33	2.0–3.2
Кремниевая кислота, мг/дм ³	34.6	42.2	73.6–88.64	91.17
Температура воды, °С	26	35	45	54

мическое преобразование гидротерм, поступающих с глубины.

Изучение микрокомпонентного состава гидротерм (табл. 3) осуществлялось в лаборатории Аналитико-сертификационного центра Института проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН (п. Черноголовка). Пробы воды отбирались в местах естественной разгрузки или на изливе воды из скважин в специальные полиэтиленовые бюксы объемом 0.02 л. Анализы воды на содержание 72 химических элементов проводились масс-спектральным и атомно-эмиссионным методами с индуктивно связанной плазмой. В термальных водах было установлено присутствие 52 химических элементов с различной степенью встречаемости.

Анализ данных, приведенных в табл.3, свидетельствует о том, что микроэлементный состав слабощелочных и щелочных азотных гидротерм рассматриваемой территории по отдельным показателям, даже в сравнительно близко расположенных очагах разгрузки, может существенно отличаться. Причиной этого могут быть различия в вещественном составе исходных флюидов, термодинамические и гидрогеохимические барьеры на пути движения разогретых паров и воды, а также взаимодействие гидротерм с вмещающими породами, обогащенными или обедненными определенными химическими элементами.

Металлоносность термальных вод

Металлоносность гидротерм различных регионов Земли, в том числе азотных щелочных и слабощелочных термальных вод, подробно рассмотрена в работе Е.А. Баскова и С.Н. Сурикова [3]. Качественно новые материалы, полученные в результате ис-

пользования современных методов анализов воды, позволили значительно расширить представление о составе микроэлементов в щелочных азотных термах северо-восточного Сихотэ-Алиня.

Для гидротермальных проявлений северо-восточного Сихотэ-Алиня характерно постоянное присутствие кремния, лития, бериллия, бора, алюминия, мышьяка, рубидия, стронция, иттрия, молибдена, сурьмы, цезия, бария, лантана, церия, празеодима, неодима, тория и урана. Кроме того, ряд дополнительных химических элементов встречаются только в определенной группе гидротерм или на отдельных участках разгрузки термальных вод. Для Лазаревской группы горячих источников и Анненских гидротерм характерно присутствие марганца, железа, меди, цинка, галлия, германия, самария, гадолиния, диспрозия и свинца, а для Тумнинских и Лазаревских термальных вод – ванадия. Только в водах Чомэнского и Лазаревского источников встречены гольмий и иттербий, в Анненских и Тумнинских гидротермах – таллий, Тумнинских и Чомэнских – никель, кобальт и кадмий. Рений, осмий, теллур и висмут наблюдаются только в Тумнинских водах, вольфрам и бром – в Анненских, титан, серебро, хром, европий, тербий, эрбий, тулий и лютеций – в Чомэнском источнике, а фосфор – в Лазаревском.

Группа металлических рудных элементов азотных терм северо-восточного Сихотэ-Алиня представлена подгруппами меди (Cu, Ag), цинка (Zn, Cd), германия (Ge, Pb) и галлия (Ga, Tl). Для перечисленных металлических рудных элементов характерны следующие значения концентрации (мг/дм³): Cu – 0.0014–0.006; Zn – 0.0018–0.021; Cd – <0.00015; Ge – <0.0003–0.0047; Pb – 0.00037–0.0022; Ga – <0.0006–0.0046; Tl – 0.000004–0.00001. Присутствие серебра

Таблица 3. Характеристика микрокомпонентного состава термальных вод, мг/дм³.

Химический элемент	Источник Лазаревский	Источник Чомэнский	Тумнинское (скважина)	Анненское (скважина)
Кремний	12.5	15.2	80.6-88.64	32.8
Литий	0.008	0.012	0.008	0.0526
Бериллий	0.000011	0.000038	0.000009	0.00008
Бор	0.009	0.031	0.017	0.0435
Алюминий	0.29	0.38	0.01	0.0182
Фосфор	0.12	0	0	0
Титан	0	0.012	0	0
Ванадий	0.0019	0.008	0.013	0
Хром	0	0.00089	0	0
Марганец	0.0049	0.086	0	0.00088
Железо	0.066	0.8	0	0.0437
Кобальт	0	0.00046	<0.001	0
Никель	0	0.003	<0.005	0
Медь	0.0014	0.006	0	0.0025
Цинк	0.0018	0.021	0	0.0038
Галлий	<0.0006	<0.001	0	0.0046
Германий	<0.0003	<0.0003	0	0.0047
Мышьяк	0.0064	0.01	0.043	0.0177
Бром	0	0	0	0.0339
Рубидий	0.0016	0.0024	0.001	0.0077
Стронций	0.075	0.039	0.016	0.00942
Иттрий	0.000054	0.00041	<0.0001	0.000047
Цирконий	0	0.000067	0	0.00041
Молибден	0.0076	0.0048	0.019	0.008
Серебро	0	0.000032	0	0
Кадмий	0	0.00015	<0.0001	0
Сурьма	0.00009	0.00013	0.0001	0.0002
Теллур	0	0	0.0001	0
Цезий	0.0076	0.0026	0.0001	0.0062
Барий	0.0014	0.0091	0.01	0.0009
Лантан	0.000068	0.00035	0.0001	0.000086
Церий	0.00014	0.00095	0.000003	0.00014
Празеодин	0.000016	0.000094	0.00002	0.000018
Неодим	0.000063	0.00038	0.00001	0.000061
Самарий	0.000013	0.000086	0	0.000013
Европий	0	0.000016	0	0
Гадолиний	0.000015	0.000081	0	0.000015
Тербий	0	0.000014	0	0
Диспрозий	0.000012	0.000071	0	0.00001
Гольмий	0.000002	0.000013	0	0
Эрбий	0	0.000041	0	0
Тулий	0	0.000006	0	0
Иттербий	0.000004	0.000033	0	0
Лютеций	0	0.000005	0	0
Вольфрам	0	0	0	0.0235
Рений	0	0	0.000003	0
Осмий	0	0	0.000003	0
Таллий	0	0	0.000004	0.00001
Свинец	0.00037	0.0022	0	0.00031
Висмут	0	0	0.011	0
Торий	0	0.000067	0.00001	0.000025
Уран	0.0023	0.0047	0.01	0.000072

Примечание. Содержание Li, Be, B, Na, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Ba, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Mo, Nb, Ru, Rh, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Cs, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Th и U в пробах определяли масс-спектральным (X-7 ICP-MS, Thermo Elemental, США) и атомно-эмиссионным (ICAP-61, Thermo-Jarrell, США) методами анализа в Институте проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН (п. Черноголовка).

было установлено только в воде источника Чомэнский, где содержание его составило 0.000032 мг/дм^3 .

Химические элементы группы платиноидов не характерны для термальных вод северо-восточного Сихотэ-Алиня; только в Тумнинских гидротермах установлено присутствие осмия, концентрация которого составляет 0.000003 мг/дм^3 .

Из металлоидных и металлогенных элементов, для всех проявлений азотных термальных вод характерны мышьяк ($0.0064\text{--}0.043 \text{ мг/дм}^3$) и сурьма ($0.00009\text{--}0.0002 \text{ мг/дм}^3$). Повышенная концентрация мышьяка установлена в Анненских термах (0.043 мг/дм^3), а очень высокое для щелочных азотных терм Дальневосточного региона одиночное определение висмута с содержанием 0.011 мг/дм^3 зафиксировано в эксплуатационной скважине Тумнинского профилактория.

Химические элементы группы железа в различных сочетаниях характерны для всех месторождений и проявлений термальных вод. В Анненских термах и источниках Лазаревской группы присутствуют железо ($0.044\text{--}0.8 \text{ мг/дм}^3$) и марганец ($0.00088\text{--}0.086 \text{ мг/дм}^3$), в Тумнинских водах и Лазаревских источниках – ванадий ($0.0019\text{--}0.013 \text{ мг/дм}^3$), в воде источников Лазаревской группы – никель ($0.003\text{--}0.005 \text{ мг/дм}^3$) и кобальт ($0.00046\text{--}0.001 \text{ мг/дм}^3$). Наличие в горячих водах титана (0.012 мг/дм^3) и хрома (0.012 мг/дм^3) установлено только в Чомэнском источнике.

Из химических элементов группы молибдена во всех перечисленных выше проявлениях термальных вод встречаются молибден ($0.0046\text{--}0.019 \text{ мг/дм}^3$) и вольфрам, содержание которого в Анненских гидротермах составляет 0.0235 мг/дм^3 . Следует отметить, что концентрация вольфрама и молибдена в пресных подземных водах артезианских бассейнов и гидрогеологических массивов Дальнего Востока, как правило, не превышает 0.001 мг/дм^3 .

Группа щелочных металлов в термальных водах северо-восточного Сихотэ-Алиня представлена полностью. В основном, концентрация лития в гидротермах аналогична содержанию его в пресных подземных водах территории ($0.008\text{--}0.012 \text{ мг/дм}^3$) и только в Анненских водах превышает предельно допустимое содержание для вод хозяйственно-питьевого водоснабжения, достигая 0.0526 мг/дм^3 . Необходимо отметить, что повышенные содержания лития наблюдаются также на участках разгрузки холодных пресных и углекислых минеральных вод по зонам тектонических нарушений, а также в пределах площадных гидрогеохимических аномалий, приуроченных к трещинно-грунтовым водам гидрогеологических массивов на участках неотектонических поднятий (район Хабаровска, междуречье Гура и Амура).

Кроме лития, калия и натрия в описываемых термальных водах присутствует рубидий ($0.0016\text{--}0.001 \text{ мг/дм}^3$) и цезий ($0.0026\text{--}0.001 \text{ мг/дм}^3$).

Бериллий и элементы его группы – стронций и барий – встречаются в термальных водах всех характеризующих гидротермальных проявлений. Содержание бериллия составляет $0.000009\text{--}0.00008 \text{ мг/дм}^3$, стронция – $0.00942\text{--}0.075 \text{ мг/дм}^3$, а бария – $0.0009\text{--}0.01 \text{ мг/дм}^3$. Если концентрация бериллия практически такая же, как в подземных водах зоны свободного водообмена на территории Приамурья, то количество бария и стронция в термальных водах совпадает или на порядок меньше содержания этих элементов в пресных подземных водах артезианских бассейнов и гидрогеологических массивов.

В термальных водах описываемой территории химические элементы группы редких металлов представлены цирконием, теллуром и рением. Цирконий распространен в воде Чомэнского источника (0.000067 мг/дм^3) и Анненских водах – 0.00041 мг/дм^3 , а теллур (0.0001 мг/дм^3) и рений (0.000003 мг/дм^3) – только на Тумнинском участке. Редкоземельные металлы группы лантаноидов, за исключением прометия, в различных сочетаниях встречаются во всех изученных гидротермальных проявлениях. Всем гидротермам присуще наличие лантана ($0.000068\text{--}0.00035 \text{ мг/дм}^3$), церия ($0.000003\text{--}0.00095 \text{ мг/дм}^3$), празеодима ($0.000016\text{--}0.000094 \text{ мг/дм}^3$), неодима ($0.00001\text{--}0.00038 \text{ мг/дм}^3$) и иттрия ($0.000047\text{--}0.00041 \text{ мг/дм}^3$). В воде Лазаревских источников и Анненских гидротермах присутствует самарий ($0.000013\text{--}0.000086 \text{ мг/дм}^3$), гадолиний ($0.000015\text{--}0.000081 \text{ мг/дм}^3$) и диспрозий ($0.000012\text{--}0.000071 \text{ мг/дм}^3$). Наиболее представительный состав лантаноидов наблюдается в термальных водах Лазаревской группы гидротерм. В воде Чомэнского и Лазаревского источников, кроме перечисленных выше химических элементов, встречаются иттербий ($0.000004\text{--}0.000033 \text{ мг/дм}^3$) и гольмий ($0.000002\text{--}0.000013 \text{ мг/дм}^3$), а в Чомэнском источнике дополнительно – европий (0.000016 мг/дм^3), тербий ($0.0000014 \text{ мг/дм}^3$), эрбий (0.000041 мг/дм^3), тулий (0.000006 мг/дм^3) и лютеций (0.000005 мг/дм^3). Суммарное содержание лантаноидов в термальных водах северо-восточного Сихотэ-Алиня изменяется от 0.00013 до 0.0021 мг/дм^3 .

Радиоактивные химические элементы представлены ураном и торием. Если в термальных источниках Лазаревской группы концентрация урана близка содержанию его в подземных водах первых от поверхности водоносных горизонтов и зон трещиноватости ($0.0023\text{--}0.0047 \text{ мг/дм}^3$), то в Анненских и Тумнинских гидротермах она существенно отличается. В

Анненских термах зафиксировано минимальное содержание урана – 0.000072 мг/дм³, а в Тумнинских максимальное – 0.01 мг/дм³. Торий установлен в воде Чоменского источника, Тумнинских и Анненских гидротермах. Концентрация этого радиоактивного элемента на этих участках термальных вод варьирует в пределах от 0.00001 до 0.000067 мг/дм³.

Бор и алюминий присутствуют во всех характеризуемых гидротермах северо-восточного Сихотэ-Алиня. Содержание в термальных водах бора (0.009–0.0435 мг/дм³) и алюминия (0.0182–0.038 мг/дм³) незначительно превышает их концентрацию, обычно наблюдаемую в пресных подземных водах гидрогеологических подразделений, распространенных на территории Приамурья.

Из химических элементов группы галогенов в термальных водах присутствует фтор, концентрация которого в Лазаревских и Тумнинских термах составляет 0.33–0.6 мг/дм³, а в Анненских – варьирует в пределах от 2.0 до 3.2 мг/дм³, в среднем составляя 2.5 мг/дм³. Бром в количестве 0.0339 мг/дм³ установлен только в воде, выводимой эксплуатационной скважиной бальнеолечебницы “Анненские воды”.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании сопоставления наших данных и результатов гидрогеохимического опробования термальных вод, приведенных в работе [5], устанавливается достаточно широкий диапазон изменения концентраций различных показателей макро- и микрокомпонентного состава гидротерм в различные периоды времени. Возможность вариаций количественных параметров этих компонентов требует более осторожного подхода при оценке региональных закономерностей формирования термальных вод. По всей видимости, такие выводы должны делаться на основании ретроспективных данных полноценного гидрогеохимического мониторинга проявлений этих вод.

В соответствии с классификацией гидроминерогенических зон щелочные гидрокарбонатные азотные термы Сихотэ-Алиня относятся к выделенному авторами типу с широким распространением вольфрама, германия, молибдена, свинца и, в меньшей степени, меди, цинка и других металлов [3]. Проведенные исследования расширили представления о металлоносности термальных вод, распространенных на участках, не связанных с современным вулканизмом. Накопление аналогичной информации по новым проявлениям и эксплуатируемым месторождениям щелочных азотных гидротерм Прибрежной провинции и других территорий позволит уточнить геологические представления о генезисе современных гидротермальных растворов в зонах поствулканической деятельности и, возможно, установить новые гидрогеохимические признаки активизации сейсмической деятельности, а также оценить влияние рассеянных химических элементов на бальнеологические свойства воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архипов Б.С. Новые данные о минеральных и термальных водах Хабаровского края // Тенденции и перспективы развития гидрогеологии и инженерной геологии в условиях рыночной экономики России. XI Толстухинские чтения: Тез. докл. науч.-метод. конф. СПб., 2004. С. 65–67.
2. Барабанов Л.Н., Дислер В.Н. Азотные термы СССР. “Геоминвод”. М., 1968. 119 с.
3. Басков Е.А., Суриков С.Н. Гидротермы Земли. Л.: Недра, 1989. 243 с.
4. Гидрогеология СССР. Т. XXX111. Хабаровский край и Амурская область. М.: Недра, 1971. 511 с.
5. Чудаев О.В., Чудаева В.А., Брагин И.В. Геохимия термальных вод Сихотэ-Алиня // Тихоокеан. геология. 2008. Т. 27, № 6. С. 73–81.

Рекомендована к печати О.В. Чудаевым

B.S. Arkhipov

Chemical composition and metal content of thermal waters of the north-eastern Sikhote-Alin (Far East)

A pattern of distribution of alkaline nitrogen hydrotherms of the north-eastern Sikhote-Alin is offered. A comparative characteristic of gas, chemical and microcomponent composition of thermal waters from the Lazarevskaya springs (Tumminskiy and Annenskiy deposits) is given. The reasons for the change in the chemical composition of hydrotherms at exploitation sites are analyzed.

Key words: nitrogen hydrotherms, chemical composition, metal content, Sikhote-Alin, Far East.