Геохимические особенности природных вод Центральной экологической зоны Байкальской природной территории (ЦЭЗ БПТ)

Петров В.В.¹, Яковлев Д.В.²

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского»,
Санкт-Петербург, Россия, E-mail: 1pvvaqua@mail.ru, 2dmitryakovlev@mail.ru

АННОТАЦИЯ: В работе уточнен состав устойчивой ассоциации компонентов состава термальных вод ЦЭЗ БПТ. В нее входят Li, B, Na, Si, K, Rb, Sr, Mo, W. Наличие данной ассоциации или ее фрагментов в природных водах другого типа (поверхностные, грунтовые) позволяют прогнозировать глубинное питание этих вод. Сравнение особенностей распределения концентраций компонентов природных вод региона позволяет предполагать единый источник формирования этих вод - воды атмосферного питания и вмещающие горные породы. Особенности распределения концентраций компонентов состава термальных вод связаны с их повышенной температурой и продолжительностью контакта с вмещающими горными породами.

Geochemical features of natural waters in the Central ecological zone of the Baikal natural territory (BNT)

Petrov V.V.¹, Yakovlev D.V.²

FGBU «A. P. Karpinsky Russian geological research institute», Saint Petersburg, Russia, E-mail: 1pvvaqua@mail.ru, 2dmitryakovlev@mail.ru

ABSTRACT: The paper describes the composition of stable components association of the CEZ BNT thermal waters components. It includes Li, B, Na, Si, K, Rb, Sr, Mo, and W. Significant depth formation of the thermal and the presence of this association or its fragments in another type natural waters (e.g. surface, ground) allows to predict that the waters have deep nutrition. A comparison of the distribution of natural waters components concentration allows to assume that atmospheric water supply and host rocks are the only source of the waters formation. The distribution of the composition of thermal waters components concentration is related to the temperature and duration of contact with the host rocks.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение геохимии природных вод Прибайкалья проводится на протяжении многих десятилетий [Басков, Климов, 1963, Ломоносов, 1974, Писарский, 1987, Замана, 2000, Плюснин, 2008, 2013 и др., 2]. Эти исследования были сосредоточены главным образом на изучении азотных терм Байкальской рифтовой зоны. В результате после долгих дискуссий были обоснованы условия формирования этих терм, за счет метеогенных жильных вод горного обрамления, погружающихся на значительные глубины (более 3-4 км). Выявлены также условия формирования общего химического и газового состава терм. В то же время, представляется важным изучение микрокомпонентного состава терм и сравнение особенностей распределения концентраций макро- и микрокомпонентов химического состава разного типа природных вод, распространенных в данном регионе. Наряду с термальными имеются в виду грунтовые и поверхностные воды, включая воды оз. Байкал.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Представленный ниже гидрогеохимический материал собран и обработан в ходе проведения работ ФГБУ «ВСЕГЕИ» в Центральной экологической зоне Байкальской природной территории (ЦЭЗ БПТ) в период с 2015 по

2019 г. Одной из основных задач работ являлось исследование природных объектов и явлений потенциально или фактически связанных с миграцией углеводородов. Пробы воды отбирались вдоль всего побережья озера Байкал из холодных и термальных источников, колодцев и скважин, а также из озер, рек, ручьев и из самого оз. Байкал. Всего отобрано и проанализировано более 600 проб воды. Анализ выполнен в аналитическом центре ВСЕГЕИ методом ICP MS с использованием масспектрометра Agilent 7700. Данный анализ показал присутствие в водах довольно богатого спектра макро- и микрокомпонентов. Наиболее часто встречаемые компоненты обнаружены в следующих концентрациях: более 100 мг/л – Na; более 10 мг/л - Si, K, Al, Fe; более 1 мг/л - B, Mn, Sr; более 100 мкг/л - Li, Zn, Rb, Ba, W; более 10 мкг/л - Ni, Cu, As, Mo; более 1 мкг/л - Co, Y, La, Pb, U; более 0,01 мкг/л - Te, Ag, Cd, Hf, Bi.

Анализ данных проведен с использованием традиционного статистического метода, путем расчета региональных средних концентраций компонентов всего массива данных ($\bar{X}_{cp}$) в природных водах и определения величины среднего квадратичного отклонения - σ . Средние значения и другие статистики определялись также отдельно для поверхностных, грунтовых и термальных вод. Аномальные

концентрации компонентов в природных водах региона определялись путем сравнения полученных при масспектрометрии значений с величиной $X_{cp} + \sigma$. За минимально аномальные значения концентраций компонентов принимались значения, превышающие величину $X_{cp} + \sigma$. За максимально аномальную, принималась концентрация компонента, превышающая $X_{cp} + 3\sigma$. Также был построен график распределения компонентов в разных типах вод (рис. 1).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Выполненный ранее статистический анализ позволил выявить устойчивую ассоциацию компонентов в водах, включающую следующие компоненты: Li, B, Na, Si, K, Rb, Hf, а также W [1]. Исследования компонентного состава термальных вод показали устойчивость в выборке большинства указанных выше компонентов (табл. 1). Здесь они обнаружены в аномальных концентрациях. Фоном для выявления аномалий в термальных водах приняты средние значения концентраций компонентов вод разного типа, как термальных, так поверхностных и грунтовых. При расчетах использованы результаты анализов 162 проб, отобранных из источников, скважин, колодцев, озер, рек, ручьев, озер. Данные приведенные в таблице показывают, что ряд компонентов (Li, Na, W, B, Si, K, Rb, Sr, Mo) в водах большинства или всех термальных источников находятся в аномальной концентрации. La и Hf редко встречаются в таких концентрациях. Большая же часть компонентов, определенных в термальных водах (Be, Mg, Al, Ca, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Ag, As, Ba), находятся по большей части в концентрациях ниже средних значений. Таким образом, в уточненный состав устойчивой ассоциации компонентов термальных вода региона входят - Li, B, Na, Si, K, Rb, Sr, Mo, W.

Рассмотрим соотношение концентраций компонентов в водах разного типа. Обратимся к графику (рис. 1). На графике можно видеть, что, во-первых, общая тенденция распределения концентраций компонентов в водах довольно однородна. Уровень содержания одних и тех же компонентов в водах разного типа незначительно отличаются друг от друга. Прежде всего это характерно для компонентов, распространенных в поверхностных (ПвВ) и грунтовых (ПдВ) водах. Очевидно, что условия формирования химического состава поверхностных и грунтовых вод сходны и связаны с метеогенными водами и вмещающими горными породами с одной стороны и непосредственная связь между ними с другой.

Второй особенностью распределения компонентов в водах разного типа является значительное превышение уровня концентрации ряд компонентов термальных вод (Термы) над этими уровнями в водах других типов. Так уровень

концентрации Li, B, Na, Rb, Mo на один порядок выше, чем в уровень концентраций этих компонентов в поверхностных и грунтовых водах. Превышение концентраций W в термальных водах составляет более двух порядков. Эти компоненты можно отнести к группе избыточных в составе терм [2], дополнив ее микрокомпонентами. Данный факт можно объяснить сравнительно более длительным контактом термальных вод с вмещающими породами, повышенной температурой этих вод.

Третьей особенностью распределения концентраций компонентов в водах разного типа, включая термальные, являются близкие уровни концентраций в них халькофильных (Cu, Zn, Ag, Pb), сидерофильных (Fe, Mn, Co, Ni), некоторых литофильных (Ca, Mg, K, Sr, Ba) и редких (Y, La, Hf) элементов. Эта особенность связана низкой миграционной способностью компонентов (в частности халькофилы и сидерофилы) в нейтральной и щелочной среде, характерной для термальных вод. Ряд перечисленных компонентов входят в группу дефицитных для термальных вод [2], соответственно не накапливаются в них и сходны по уровню концентраций с поверхностными и грунтовыми водами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные выше сведения позволяют сделать некоторые выводы и заключения. Во-первых, уточнен состав устойчивой ассоциации литофильных, редких и рассеянных элементов, характерных для азотных терм Байкальской рифтовой зоны, имеющих глубинное питание. Выявление компонентов, входящих в эту ассоциацию в аномальных концентрациях в других типах вод (поверхностных, грунтовых) позволяют прогнозировать питание их за счет глубинных вод. Такого рода проявления выявлены в ряде участков на побережье оз. Байкал [1], а также в придонных водах Байкала близ, так называемых, грязевых вулканов.

Второй важный вывод сводится к тому, что источник формирования химического состава природных вод региона, включая азотные термы, один для всех, а именно, воды атмосферного питания и вмещающие горные породы. Особенности же состава определяются температурой вод, продолжительностью контакта вод с вмещающими породами и особенностями состава этих пород. Очевидно, что для термальных вод температура и продолжительность их взаимодействием с вмещающими породами выше, чем в других типа вод, что приводит к более высоким концентрациям отдельных компонентов.

Третий вывод. В составе природных вод региона выделяется большая группа компонентов сходная по уровню концентраций. Условия миграции этих компонент не благоприятны как в термальных, так в грунтовых и поверхностных

водах. Выделенная ранее группа дефицитных для термальных вод компонентов (Ca, Mg, Fe,

Al, Cl, S и др.) может быть дополнена перечисленными выше микрокомпонентами.

Таблица 1. Концентрации компонентов химического состава термальных вод, в мкг/л

№ п.п	Объект	Li	B	Na	Si	K	Rb	Sr	Mo	La	Hf	W
1	скв. № 103А (Загза)	139	2060	254000	56000	7430	43,1	98,7	0,8	0	0,019	29,3
2	ист. Котельниковский (скв.)	516	28,6	66100	37600	3380	133,0	147,0	40,0	0	0,032	102
3	ист. Хакусы	34,9	5,3	49500	15700	1940	11,7	417,0	34,9	0,01	0,003	7,57
4	ист. Горячинск (скв.)	34,9	15,9	110400	19400	3050	16,0	540,0	5,4	0,17	0,002	16,2
5	ист. Фролиха	33,5	4,3	29800	10700	1280	2,9	236,0	28,8	0,02	0,02	4,95
6	руч. в р-не р. Езовка	155	29,3	37800	9090	889	6,9	180,0	16,4	0,11	0,032	23,8
7	ист. Давша	163	32,4	92300	15000	2550	35,6	493,0	8,1	0,05	0,014	22,5
8	ист. Змеиные (№1)	19,6	53,1	80100	27300	2060	10,7	26,5	2,4	0,03	0,009	13,8
9	ист. Змеиные (№2)	36,5	59,7	83900	24900	1810	14,3	77,3	2,0	0	0,008	13,7
10	ист. Змеиные (№3)	51,9	194,0	168100	50700	4040	16,7	88,2	0,1	0,06	0,01	8,48
11	скв. Максимиha (т/б «Барилда-ан»)	75,3	20,3	79000	9450	1820	1,5	594,0	9,2	0,53	0,023	12,1
12	ист. Кулиных болот (№1)	51,2	58,7	94900	29800	1710	23,3	95,9	2,5	0,17	0,031	18,5
13	ист. Кулиных болот (№2)	46,6	59,2	97700	31500	1900	24,6	208,0	4,0	0,19	0,012	29,1
14	ист. Кулиных болот (№3)	168	303,0	215100	65300	6480	22,2	1970,0	0,6	0,05	1E-04	0,45
15	ист. Кулиных болот («Кулиные блюдце»)	55,0	109,0	120900	43000	6350	30,4	683,0	0,2	0,07	0,01	0,85
16	ист. Гусихинский (скв.)	165	37,3	140700	31500	9080	79,0	1460,0	21,6	0,07	0,029	29,3
17	ист. Гусихинский	159	35,2	132600	26600	7860	69,8	1200,0	18,8	0,08	0,013	22,2
18	ист. Золотой ключ (№1)	140	23,8	88900	26100	3600	40,5	368,0	27,3	1,49	0,033	12,4
19	ист. Золотой ключ (№2)	86,6	17,4	53700	20100	2100	23,0	123,0	13,2	2,71	0,016	6,56
20	ист. Толстихинский	95,1	99,6	118600	29700	3130	16,1	130,0	4,0	1,49	0,01	27,3
21	ист. Макаров	20,7	88,1	116800	33400	3830	0,3	9,2	6,0	0,05	0,01	13,10
22	ист. Умхейские	104	84,4	125400	35800	1640	13,8	133,0	0,2	0,00	0,01	6,16
23	ист. Кучигерские	71,4	98,8	126500	40500	1970	12,8	265,0	0,5	0,73	0,01	3,74
24	ист. Аллинские	75,9	63,7	106900	44400	3060	17,1	353,0	0,4	0,47	0,01	2,56
25	ист. Питателевский	467	130,0	573900	41300	27400	283,0	9960,0	37,0	0,01	0,01	25,70
Основные статистические характеристики компонентного состава природных вод разного типа												
	X _{ср}	4,25	9,00	6441,9	7821,9	1490,9	1,26	171,15	0,92	0,10	0,01	0,09
	n	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162	162
	σ	2,32	5,09	5394,80	4691,66	880,30	1,09	115,89	0,78	0,08	0,01	0,06
	V, %	54,51	56,58	83,7	60,0	59,0	87,10	67,71	85,44	82,85	76,55	68,33
	3σ	6,95	15,27	16184,4	14075,0	2640,9	3,28	347,68	2,35	0,25	0,03	0,18
	X _{ср} + σ	6,56	14,09	11836,7	12513,6	2371,2	2,35	287,05	1,70	0,18	0,02	0,14
	X _{ср} + 3σ	11,20	24,27	22626,3	21896,9	4131,8	4,54	518,83	3,26	0,35	0,04	0,26

Примечания: 1. Компоненты выделенные жирным шрифтом и курсивом обнаружены в аномальных концентрациях. 2. Компоненты обнаруженные по преимуществу (в 70-90% пробах) в концентрациях ниже средних значений (Be, Mg, Al, Ca, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Ag, As, Ba) в таблицу не включены.

Рис. 1. Распределение концентраций компонентов химического состава природных вод

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петров В.В., Яковлев Д.В. К вопросу о микро-компонентном и газовом составе природных вод прибрежной части оз. Байкал. Материалы XXII Сочещание по подземным водам Сибири и Дальнего

Востока. — Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2018. — 379-384 с.

2. Шварцев С. Л., Замана Л. В., Плюснин А. М., Токаренко О. Г. Равновесие азотных терм байкальской рифтовой зоны с минералами водовмещающих пород как основа для выявления механизмов их формирования. Геохимия, 2015, № 8, с. 720-733.