

Рис. 1: Концентрации бора, минерализации и хлора в подземных водах. Номера проб см. табл. 1.

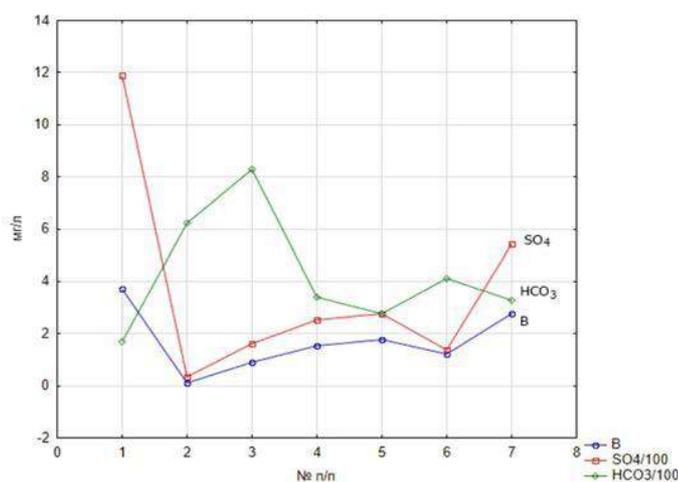


Рис. 2: Концентрации бора, сульфатов и гидрокарбонатов в подземных водах. Номера проб см. табл. 1.

#### Литература

1. Закутин В.П., Вавичкин А.Ю. Основные особенности геохимии бора в пресных подземных водах // Геозкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. – 2010. – № 1. – 30-39 с.
2. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества.
3. Сунгатуллин Р.Х. Минеральные питьевые воды Республики Татарстан // Ученые записки Казанского государственного университета. Естественные науки. – 2010. – Т. 152, кн. 3. – С. 223-237.

### ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД ПРОВИНЦИИ ЦЗЯНСИ (ЮГО-ВОСТОЧНЫЙ КИТАЙ)

Е.В. Зиппа

Научный руководитель профессор С.Л. Шварцев, доцент О.Г. Токаренко

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Провинция Цзянси расположена в юго-восточной части Китайской Народной Республики и является одной из провинций, в границах которых широко распространены родники термальных вод. Началом основательному и детальному изучению терм рассматриваемой территории послужили работы 1979 г. Ли Сюэли [2], дальнейшие исследования были продолжены Чжаньюэ Сунь с 1988 г. [3] и осуществляются в настоящее время.

В пределах провинции выявлено около 96 родников различных по газовому и химическому составу, расположенных в пределах следующих геотермальных районов: Ганьбэй (северная часть провинции), Ганьчжун (центральная часть провинции), Ганьдуннань (южная часть провинции). Каждый геотермальный район включает в себя несколько подрайонов, в частности, рассматриваемые в настоящей работе, термальные воды приурочены к районам Лушань (Ганьбэй), Мааньпин-Линьчуань (восток Ганьчжун), Гансянь (запад Ганьдуннань) и Хенцзин (восток Ганьдуннань). Термы подрайонов в основном приурочены к глубинным разломам, некоторые из которых до сих пор отмечены высокой тектонической активностью. В геологическом отношении район исследований представлен песчаниками, сланцами, мигматитами, гранитами, конгломератами мелового, юрского, синийского, докембрийского и кембрийского периодов [5].

Термальные воды провинции Цзянси по газовому составу относятся к углекислым и азотным термам. В октябре 2015 года в пределах рассматриваемой территории при непосредственном участии автора статьи под руководством С.Л. Шварцева и Чжансюэ Сунь проведены экспедиционные исследования, в ходе которых опробованы 12 термальных родников на общий химический, микрокомпонентный и изотопный анализ. В настоящей работе рассматриваются результаты общего химического анализа, проведенного в аккредитованной лаборатории НОЦ «Вода» и в Центре химического анализа и физических испытаний Восточного Китайского технологического университета. Кроме того, в работе представлены результаты химического состава терм, полученные ранее Чж. Сунь. Химический состав термальных вод провинции Цзянси представлен в таблице.

Таблица

Химический состав термальных вод провинции Цзянси, мг/л

Геотермальный район	Подрайон	№	T, °C	M	pH	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	SiO <sub>2</sub>	F <sup>-</sup>	Химический тип
<b>Углекислые термальные воды</b>															
Ганьчжун (центральная часть Цзянси)	Мааньпин-Линьчуань	1	36	1263	6,30	744	43	10,8	132	130,0	15,5	102,2	80	4,9	HCO <sub>3</sub> -Ca-Na
		2	41	287	6,91	127	38	2,7	9	51,0	3,0	6,0	45	4,7	HCO <sub>3</sub> -Ca
		3*	53	346	7,64	140	50	2,1	12	61,8	2,9	15,2	57	4,6	HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> -Ca
		4*	58	987	7,77	98	465	16,9	221	39,0	0,2	19,5	118	9,6	SO <sub>4</sub> -Na-Ca
Ганьдуннань (южная часть Цзянси)	Хенцзин (юго-восток)	5*	71	351	5,70	146	23	6,4	71	12,4	0,1	2,7	77	11,7	HCO <sub>3</sub> -Na
		6*	27	3869	6,50	2253	350	50,7	970	106,9	10,4	81,9	43	3,6	HCO <sub>3</sub> -Na
		7*	25	3331	6,52	1886	325	81,2	699	138,5	15,4	84,6	99	2,9	HCO <sub>3</sub> -Na
		8*	44	718	6,63	277	115	28,7	154	52,3	0,3	6,9	82	1,9	HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> -Na-Ca
		9*	48	2815	6,67	1004	765	70,2	679	117,1	10,9	71,8	94	2,9	HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> -Na
		10	37	459	6,74	217	27	8,5	94	29,1	0,1	4,4	78	1,7	HCO <sub>3</sub> -Na-Ca
		11	48	2770	6,77	1428	300	35,1	711	107,8	6,7	43,2	135	3,2	HCO <sub>3</sub> -Na
		12*	55	3129	6,78	1820	257	35,5	703	90,0	6,1	59,2	151	7,2	HCO <sub>3</sub> -Na
		13	73	299	7,30	106	17	8,5	71	9,9	0,1	3,1	81	1,6	HCO <sub>3</sub> -Na
		14	72	364	7,53	146	26	7,1	71	12,2	0,1	3,7	83	14,3	HCO <sub>3</sub> -Na
<b>Азотные термальные воды</b>															
Ганьбэй (северная часть Цзянси)	Лушань	15	71	412	8,60	186	14	5,5	110	1,7	0,0	-	80	15,0	HCO <sub>3</sub> -Na
		16	69	369	8,61	174	13	5,0	89	2,1	0,2	1,7	70	14,0	HCO <sub>3</sub> -Na
		17	65	399	8,62	186	11	5,4	110	1,9	0,0	-	70	15,0	HCO <sub>3</sub> -Na
		18*	65	396	8,78	174	13	5,1	96	2,7	0,7	-	90	15,0	HCO <sub>3</sub> -Na
Ганьдуннань (южная часть Цзянси)	Гансянь (юго-запад)	19*	38	315	8,70	127	17	6,2	72	3,8	0,02	1,9	68	15,6	HCO <sub>3</sub> -Na
		20*	83	363	8,50	94	44	3,9	59	6,4	0,1	4,5	134	10,3	HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> -Na
		21	82	376	8,50	131	18	4,3	76	4,2	0,05	5,1	116	14,6	HCO <sub>3</sub> -Na
		22*	41	342	9,25	67	56	6,0	66	2,4	0,03	3,1	110	14,6	HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> -Na
		23	43	521	6,86	250	25	5,0	91	24,5	0,5	8,3	107	9,4	HCO <sub>3</sub> -Na

\*[3, 4] результаты исследований Сунь Чж.

Результаты общего химического анализа термальных вод, показывают, что углекислые термальные воды обладают весьма пестрой минерализацией, варьирующей в пределах от 287 до 3869 мг/л, при этом значения pH колеблются от слабокислых до нейтральных (5,70-7,77) и в среднем составляют 6,8. По химическому составу углекислые термы в основном гидрокарбонатные натриевого типа, однако, следует отметить, что соотношение между элементами в различных родниках не одинаково, что подтверждается наличием углекислых терм HCO<sub>3</sub>-Na-Ca, HCO<sub>3</sub>-Ca-Na, HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>-Na, HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>-Na-Ca, HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>-Na-Ca, и даже SO<sub>4</sub>-Na-Ca типа. Следует отметить, повышенные концентрации HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, Si, иногда SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, и даже K<sup>+</sup>, но низкие значения Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, за исключением родника № 14, где концентрация фтора весьма высока и достигает 14,3 мг/л.

Зависимость между соленостью углекислых терм и их pH прослеживается слабо, однако явно выражена корреляция между минерализацией и температурой. Так, с ростом температуры соленость углекислых терм уменьшается.

Азотные термальные воды провинции являются маломинерализованными (минерализация 315-521 мг/л), но всегда щелочными или сильно щелочными (pH 8,5-9,25), исключение составляет родник № 23, где pH

6,86. По химическому составу азотные термы, аналогично углекислым, являются гидрокарбонатного натриевого типа, но также отмечены родники  $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Na}$  состава.

Соотношение между элементами в азотных термах среди катионов характеризуется явным доминированием иона  $\text{Na}^+$  над ионами  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , а среди анионов –  $\text{HCO}_3^-$ . Рассматриваемые термы также содержат повышенные концентрации  $\text{Si}$  и  $\text{F}^-$ , концентрации которых соответственно варьируют в пределах от 70-134 мг/л и 9,4-15,6 мг/л.

Явно выражена зависимость солености азотных терм от их pH, а именно с ростом минерализации pH терм уменьшается. Прослеживается слабая зависимость солености терм и от их температуры. Так, с увеличением температуры азотных терм увеличивается и их соленость. Такая связь объясняется тем, что высокая температура свидетельствует о проникновении инфильтрационных вод на большую глубину, вследствие чего время взаимодействия воды с вмещающими горными породами увеличивается, что приводит к росту их солености. Но это обоснование относится лишь к карбонатной части вод, сульфатная же часть ионов ведет себя иначе: с ростом температуры содержания  $\text{SO}_4^{2-}$  уменьшается. В этой связи можно сделать вывод, что обогащение азотных терм карбонатными и сульфатными происходит из разных источников. Если карбонатные соли являются результатом гидролиза алюмосиликатов на всем пути движения терм, то сульфатные соли образуются только при наличии сульфидов и свободного  $\text{O}_2$ , который появляется в воде в областях разгрузки [1].

На основании результатов химического анализа по известным методикам с использованием программного комплекса HydroGeo предварительно рассчитано равновесие термальных вод с ведущими минералами вмещающих пород. Так, несмотря на низкую соленость азотных терм, они насыщены к кальциту и флюориту, а также к альбиту. Углекислые термы в свою очередь являются равновесными с кальцитом и флюоритом и с алюмосиликатными минералами, такими как Na-монтмориллонит, альбит и Mg-монтмориллонит. Из всего выше сказанного можно сделать вывод, что по химическому составу термальные воды провинции Цзянси являются гидрокарбонатными натриевыми. Соленость углекислых терм значительно выше солености азотных термальных вод, в то время как pH углекислых вод является в основном кислым, а pH азотных терм – щелочным. Характер зависимости минерализации от температуры углекислых и азотных термальных вод разнонаправленный. Если в углекислых термах с ростом температуры их соленость уменьшается, то в азотных термах зависимость обратная – с ростом температуры растет и их соленость, что свидетельствует о двух различных источниках карбонатов и сульфатов.

В углекислых термах установлены повышенные содержания  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Si}$ , иногда  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , а в азотных термах –  $\text{Na}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Si}$  и  $\text{F}^-$ . Причинами низкого содержания одних химических элементов и высокого содержания других является непрерывное растворение алюмосиликатных минералов и одновременное осаждение большой группы вторичных минералов.

Равновесия исследуемых вод с минералами водовмещающих пород позволяет утверждать, что термальные воды рассматриваемой территории образуют с горными породами уникальную равновесно-неравновесную систему, эволюция которой протекает в условиях, когда подавляющая часть заимствованных из вмещающих пород химических элементов непрерывно связывается образующимися в этих условиях разнообразными вторичными минералами.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 15-55-53122 Геохимия азотных термальных вод Забайкалья (Россия) и провинции Цзянси (юго-восточный Китай).

#### Литература

1. 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. № 6. – С.1-14.
2. Li X. The relationship between distribution of thermal waters and uranium mineralization in Jiangxi. Journal of East China Geological Institute, 1979. – 21-29 pp.
3. Shvartsev S.L. Geochemistry of fresh groundwater in the main landscape zone of the Earth ISSN 0016 7029, Geochemistry International, Vol. 46, No. 13, 2008. – pp. 1285–1398.
4. Sun Z.X. The formation conditions of hot springs in Jiangxi Province, SE-China. East China Geological Institute. 1988. – 50pp.
5. Sun Z.X., Liu J., Gao B. Hydrogeochemistry and Direct Use of Hot Springs in Jiangxi Province, SE-China Proceedings World Geothermal Congress, Bali, Indonesia, 2010. – 5pp.
6. Zhou W. Studies of geothermal background and isotopic geochemistry of thermal water in Jiangxi Province. China nuclear science and technology report, 1996. – 29pp.

### РУСЛОВЫЕ ДЕФОРМАЦИИ КАК ФАКТОР ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕК НА УЧАСТКАХ ПЕРЕХОДОВ МАГИСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДА «АЛЕКСАНДРОВСКОЕ – АНЖЕРО-СУДЖЕНСК»

Е.В. Иванова

Научный руководитель профессор О.Г. Савичев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Нефтегазовый комплекс играет важнейшую роль в социально-экономическом развитии Сибири, что определяет необходимость его безаварийного функционирования и актуальность соответствующих исследований. Как правило, основное внимание при определении основных факторов аварийности обычно