

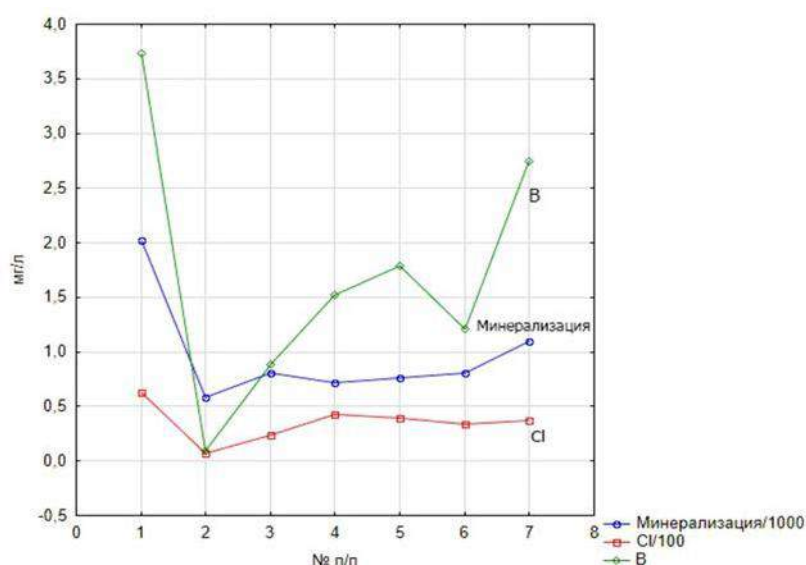


Рис. 1: Концентрации бора, минерализации и хлора в подземных водах. Номера проб см. табл. 1.

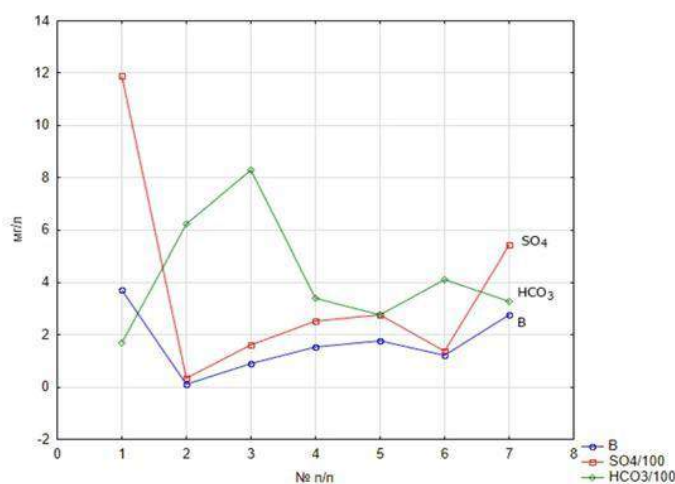


Рис. 2: Концентрации бора, сульфатов и гидрокарбонатов в подземных водах. Номера проб см. табл. 1.

#### Литература

1. Закутин В.П., Вавичкин А.Ю. Основные особенности геохимии бора в пресных подземных водах // Геозкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 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 Чжаньсюэ 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                           |
|-------------------------------------|----------------------|-----|-------|------|------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|----------------|------------------|----------------|------------------------------------------|
| Углекислые термальные воды          |                      |     |       |      |      |                               |                               |                 |                 |                  |                  |                |                  |                |                                          |
| 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                     |
| Азотные термальные воды             |                      |     |       |      |      |                               |                               |                 |                 |                  |                  |                |                  |                |                                          |
| 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>-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-СУДЖЕНСКОЕ»

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