

- Шиннави Эль Хайес // Питьевые подземные воды. Изучение, использование и информационные технологии : материалы международной научно-практической конференции (Московская область, п. Зеленый, 18-22 апреля 2011 г.) : в 4 т. – 2011. – Ч. 2. – С. 147–160.
2. СанПиН 2.1.4.1175–02. «Гигиенические требования к качеству воды централизованного водоснабжения. Санитарная охрана источников».
  3. Хвощевская А.А., Наливайко Н.Г., Копылова Ю.Г. Железобактерии в природных водах Обь-Томского междуречья – «Вода: химия и экология», 2015. – С. 76–84.
  4. Шварцев С. Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза / С. Л. Шварцев. – 2-е изд., испр. и доп.. – М.: Недра, 1998. – 366 с.
  5. Шварцев С.Л., Серебренникова О.В., Здвизков М.А., Савичев О.Г., Наймушина О.С. Геохимия болотных вод нижней части бассейна Томи (юг Томской области) // Геохимия, 2012. – Т.50. – №4. – С. 367–380;
  6. Шестакова А.В. Химический состав подземных вод Томского района и перспективы их использования для питьевого водоснабжения / А. В. Шестакова; науч. рук. А. А. Хвощевская // Проблемы геологии и освоения недр: труды XVII Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, Томск, 1-5 апреля 2013 г. в 2 т. – 2013. –Т. 1. – С. 596–598;

## ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД ПРОВИНЦИИ ЦЗЯНСИ

Е.В. Зиппа

Научный руководитель профессор С.Л. Шварцев

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия  
Томский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,  
г. Томск, Россия*

Азотные термы привлекают внимание многих ученых всего мира и относятся к числу наиболее значимых термальных вод. Помимо их лечебных свойств наибольший интерес представляет фундаментальный аспект, а именно источники избыточных химических элементов, формирование химического состава, механизмы и процессы их взаимодействия с вмещающими горными породами и другое.

В ходе исследований термальных вод различного состава неотъемлемой частью является установление их генезиса. Наиболее надежным критерием для определения генезиса подземных вод принято считать исследования изотопов водорода (дейтерий и тритий) и кислорода ( $^{18}\text{O}$ ). В этой связи основной целью настоящей работы является выявление генезиса термальных вод провинции Цзянси посредством изучения их изотопного состава воды.

Объектами исследования являются азотные и углекислые термальные воды провинции Цзянси. Всего рассмотрено 16 проб воды, из которых 8 - азотные, 8 - углекислые. Пробы были отобраны в ходе экспедиционных исследований, проведенных в 2015 и 2017 гг. Родники были опробованы на общий химический и изотопный состав. Общий химический анализ осуществлялся в проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии Томского политехнического университета и проводился несколькими методами титрования при помощи анализатора жидкости «Анион 7-51» (Russia), ионнообменной хроматографии с использованием хроматографа ICS-00 «Dionex» (USA). Анализ изотопного состава воды (D,  $^{18}\text{O}$ ) осуществлялся в Центре химического анализа и физических испытаний Восточного китайского технологического университета (г. Наньчан, Китай) с использованием изотопного масс-спектрометра с анализатором элементов TC/EA-IRMS (Finnigan MAT 253, Thermo Scientific, USA).

Провинция Цзянси расположена в юго-восточной части Китая и является одной из провинций, на территории которой наиболее широко распространены родники термальных вод. В пределах территории провинции выявлено около 96 родников. Изученные родники приурочены к глубинным разломам, которые развиты в разных геологических структурах. Углекислые термальные воды в основном распространены на юге провинции в пределах Южно-Китайской складчатой системы, в свою очередь азотные термы чаще приурочены к разломам, развитым в пределах Янцзынской параплатформы в северо-западной части провинции. По геологическим условиям места выхода азотных терм на поверхность сложены преимущественно гранитами юрского возраста, реже древними туфопесчаниками. Углекислые термы, наоборот, приурочены преимущественно к более молодым структурам и породам – песчаникам юрского и мелового возрастов, известнякам ордовика, реже туфогенным песчаникам и гранитам [5].

Результаты анализа химического состава показали, что азотные и углекислые термальные воды существенно отличаются друг от друга. Азотные термальные воды характеризуются весьма низкой величиной общей минерализации, изменяющейся в интервале от 259 до 376 мг/л, но при этом характер водной среды слабощелочной или щелочной (pH 8.5-9.3). Углекислые термальные воды, напротив, более минерализованные, соленость варьирует от 287 до 3129 мг/л, и более кислые. Значения pH варьируют от 6.3 до 7.8. Азотные термы содержат повышенные концентрации  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Si}$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ , иногда  $\text{SO}_4^{2-}$ , но в то же время концентрации  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  и др. весьма низкие. В соответствии с классификацией С.А. Щукарева, по химическому составу азотные термы провинции Цзянси в основном относятся к гидрокарбонатному натриевому типу, за редким исключением к гидрокарбонатно-сульфатному натриевому типу. В углекислых термальных водах преобладание  $\text{Na}^+$  иона среди катионов ослабевает, а концентрации  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  значительно выше, чем в азотных термах. Среди анионов доминирующими являются  $\text{HCO}_3^-$ , в отдельных случаях  $\text{SO}_4^{2-}$ . По химическому составу углекислые термы в основном относятся к  $\text{HCO}_3^-$ -Na типу, но встречаются и  $\text{SO}_4$ -Na-Ca, а также промежуточные типы:  $\text{HCO}_3^-$ -Ca,  $\text{HCO}_3^-$ -Ca-Na,  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{SO}_4$ -Ca [2, 6, 7].

Как было сказано выше, для установления генетического типа исследуемых терм изучен изотопный состав воды Н и О (табл. 1). Общеизвестно, что между содержанием стабильных изотопов дейтерия и кислорода-18 в изотопном составе метеорных вод существует корреляционная зависимость. Связь распределения  $\delta\text{D}$  и  $\delta^{18}\text{O}$

## СЕКЦИЯ 7. ГИДРОГЕОХИМИЯ И ГИДРОГЕОЭКОЛОГИЯ ЗЕМЛИ. ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ГИДРОГЕОЭКОЛОГИИ

установлена Г. Крейгом и выражена в виде уравнения, называемого прямой Крейга или глобальной линией метеорных вод (GMWL) [4]. Для провинции Цзянси соотношение изотопов дейтерия и кислорода-18 атмосферных осадков было оценено ранее [8-10].

Как видно из таблицы 1 изотопный состав воды азотных и углекислых терм несколько отличается друг от друга. Так, по сравнению с углекислыми, азотные термы менее обогащены дейтерием и кислородом 18, содержания которых варьируют от -66.6 до -53.5 и -8.9 до -6.5 ‰ соответственно. Углекислые же термы обладают более тяжелым изотопным составом: дейтерий изменяется от -61 до -47.9 ‰, кислорода 18 от -6.9 до -6.1. Сравнительный анализ полученных данных с изотопным составом атмосферных осадков региона показал, что все точки азотных и углекислых термальных вод ложатся вдоль местной линии метеорных вод (рис. 1). Следовательно, все термы региона по генезису можно отнести к метеорным.

Таблица

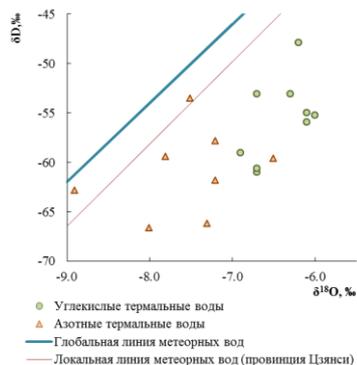
**Изотопный состав термальных вод провинции Цзянси**

№	$\delta D$ vsMOW	$\delta^{18}O$ vsMOW	№	$\delta D$ vsMOW	$\delta^{18}O$ vsMOW
<i>Углекислые термальные воды</i>			<i>Азотные термальные воды</i>		
15-1	-53.1	-6.3	15-7	-57.8	-7.2
15-4	-55.9	-6.1	15-10	-66.6	-8.0
15-6	-61.0	-6.7	15-8	-59.6	-6.5
15-2-1	-47.9	-6.2	15-9	-66.2	-7.3
15-5	-60.6	-6.7	17-2	-61.8	-7.2
15-2-2	-55.0	-6.1	17-6	-59.4	-7.8
15-3	-59.0	-6.9	17-7	-53.5	-7.5
17-4	-53.1	-6.7	17-8	-62.8	-8.9

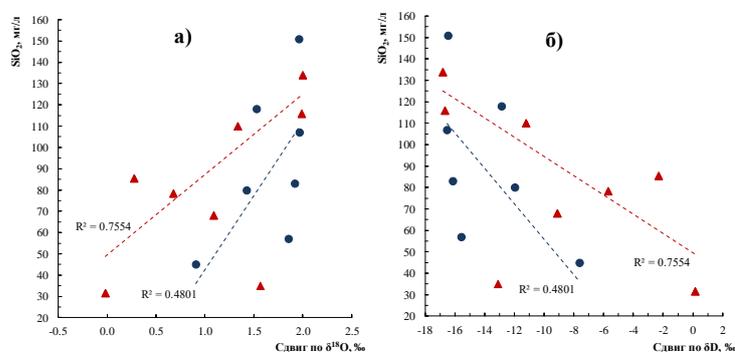
Вместе с тем полученные данные показывают, что изотопный состав всех термальных вод имеет значительный сдвиг от линии атмосферных осадков в сторону утяжеления по  $^{18}O$ . Наблюдаемый сдвиг можно объяснить тем, что и те, и другие термальные воды достаточно длительное время взаимодействовали с алюмосиликатными минералами горных пород эндогенного генезиса, которые, как известно, отличаются высокими значениями  $^{18}O$  [1]. В процессе взаимодействия вода, непрерывно растворяя эндогенные алюмосиликаты, обогащается изотопами  $^{18}O$ , что и обеспечивает значительное отклонение расположения точек терм от местной линии атмосферных осадков.

Данное обоснование хорошо согласуется с полученными результатами расчетов кислородного и водородного отклонений. Изотопные сдвиги вычислены по разности между измеренными значениями и рассчитанными по приведенному выше уравнению локальной линии метеорных вод. Полученные положительные значения говорят нам об обогащении тяжелыми изотопами, отрицательные – об обеднении. Анализ взаимосвязи изотопного сдвига с концентрацией кремния показал, что с ростом последнего происходит утяжеление по кислороду и одновременно обеднение по водороду [3].

Изучение изотопов углерода позволяет  $^{14}C$  и  $^{13}C$  определить возраст подземных вод и, в частности, термальных. Как известно период полураспада  $^{14}C$  составляет 5730 лет, что дает возможность проследить перемещение подземных вод за время до 25 тыс. лет. Результаты расчета показали, что примерный возраст азотных терм провинции Цзянси варьирует от 5 тысяч до 22,5 тысяч лет. Такой разброс возраста может быть объяснен смещением азотных терм с грунтовыми водами. Обоснование данного факта, как и более детальное датирование возраста терм требует отдельного исследования.



**Рис. 1** Соотношение  $\delta D$ - $\delta^{18}O$  для термальных вод и атмосферных осадков провинции Цзянси



**Рис. 2** Взаимосвязь отклонения по  $\delta^{18}O$  (а) и  $\delta D$  (б) от концентрации кремния в термальных водах провинции Цзянси

Таким образом, проведенные исследования показали, что азотные и углекислые термальные воды метеорного генезиса, однако выявлены различие вод по изотопному составу. Отклонение точек терм от линии метеорных вод характеризуется длительным взаимодействием с горными породами. Наличие CO<sub>2</sub> в углекислых термах восполняет потери по кислороду в процессе взаимодействия с горными породами за счет обмена с CO<sub>2</sub>, поэтому углекислые воды являются более тяжелыми по кислороду, чем азотные.

По предварительным расчетам возраст азотных терм составляет порядка 20 тысяч лет. Причиной такого омоложения может быть смешение терм с более молодыми грунтовыми водами, однако обоснование этого вопроса требует более детального исследования.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-17-01158)*

#### Литература

1. Галимов Э.М. Геохимия стабильных изотопов углерода // М.: Недра. – 1968. - 226с.
2. Зиппа Е.В. Химический состав термальных вод провинции Цзянси // Труды XX Международный научный симпозиум имени академика М. А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» 4-8 апреля 2016 г. – Томск, 2016. – С.2.
3. Шварцев С.Л., Харитонов Н.А., Лепокурова О.Е., Челноков Г.А. Генезис и эволюция углекислых минеральных вод месторождения Мухен (Дальний Восток) // Геология и геофизика. – 2017. – Т. 58. – № 1. – С. 48–59.
4. Craig H. Isotopic variations in meteoric water // Science. – 1961. – Vol. 133. – P. 1702–1703.
5. Geological memoirs. Series 1. Number 2. Regional geology of Jiangxi province. – Beijing: Geological publishing house– (People's Republic of China, Ministry of Geology and Mineral Resources. Jiangxi Bureau of Geology and Mineral Resources). An Outline of the regional geology of Jiangxi Province, China 1984. – 922 pp.
6. Sun Zh., Gao B., Shvartsev S., Tokarenko O., Zippa E. The Thermal Water Geochemistry in Jiangxi Province (SE-China): Procedia Earth and Planetary Science. – 2017. – V. 17. – 940–943 pp.
7. Sun Zh., Shvartsev S. L., Tokarenko O. G., Zippa E.V. and Gao B. Geochemical peculiarities of nitric thermal waters in Jiangxi Province (SE-China). IOP Conference Series Earth and Environmental Science: All-Russian Scientific Conference with International Participation on Contemporary Issues of Hydrogeology, Engineering Geology and Hydrogeoecology in Eurasia 23–27 November 2015. – Tomsk, Russia, 2016. – V.33. – 6 pp.
8. Sun Zh., Li X. Studies of geothermal waters in Jiangxi Province using isotope techniques // Science in China (Series E). – 2001. – V. 44. – P. 144–150.
9. Sun Zh. Geothermometry and chemical equilibria of geothermal fluids, SW-Iceland, and selected hot springs Jiangxi Province, SE-China. Geothermal training program report. – Iceland, 1998. – 30 pp.
10. Zhou W. Studies of geothermal background and isotopic geochemistry of thermal water in Jiangxi Province. China nuclear science and technology report, 1996. – 29 pp.

## ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН ДОБРЯНСКОГО РАЙОНА ПЕРМСКОГО КРАЯ

**З.В. Кивилева**

Научный руководитель доцент И.В. Щукова

**Пермский государственный национальный исследовательский университет  
г. Пермь, Россия**

Добрянский район административно-территориальная единица и муниципальное образование в составе Пермского края. Район большей частью находится на левом берегу реки Кама. Площадь Добрянского района 5192 км<sup>2</sup>. Общая численность населения на 2015 год 56,7 тыс. человек из них лишь 22,4 тыс. человек проживает в городских условиях.

На большей части территории Добрянского района отсутствует централизованное водоснабжение, вследствие чего, местное население устанавливает водозаборные скважины для питьевых целей. Однако, на территорию исследования оказывает сильное влияние деятельность человека, что сказывается на химическом составе подземных вод зоны активного водообмена.

Необходимо оценить возможность использования водозаборных скважин для целей водоснабжения. Для этого рассмотрим основные гидрохимические характеристики подземных вод зоны активного водообмена, основываясь на нормативы ГН 2.1.5.1315-03, ГН 2.1.5.2280-07 и СанПиН 2.1.4.1175-02.

Фактическим материалом послужили результаты гидрохимического опробования водозаборных скважин на территории Добрянского района – 70 проб. Исследования химического состава подземных вод включали определение HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> и K<sup>+</sup>, общей минерализации, pH, общей жесткости, Fe<sub>общ</sub>.

Практическая значимость: полученные гидрохимические характеристики позволяют оценить качество вод, используемых жителями района для хозяйственно-питьевых целей, установить источники их загрязнения, дать рекомендации по очистке от загрязнения.

Рельеф территории исследования сформирован в основном эрозийными процессами. Рельефообразующими элементами являются долина р. Камы, её притоки и овраги. По внешнему облику рельеф территории равнинный, по морфологическим категориям – волнистый, холмистый, увалистый, балочный и долинный.

По общепринятой классификации климат региона характеризуется как умеренно-континентальный, с умеренно теплым коротким (июнь-август) летом и продолжительной холодной зимой. Годовое количество осадков (500-700 мм) превышает возможное испарение, поэтому увлажнение здесь избыточное.