

## ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ВОДОСБОРНОГО БАСЕЙНА ОЗЕРА ПОЯНХУ (КИТАЙ)

Е.А. Солдатова

Научный руководитель профессор С.Л. Шварцев

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия,  
E-mail: 2a61@mail.ru*

**Аннотация.** В статье приведены данные об изотопном составе ( $\delta D$ ,  $\delta^{18}O$ ) подземных вод водосборного бассейна оз. Поянху. По соотношению изотопов  $\delta D$  и  $\delta^{18}O$  определен генезис исследуемых вод, а также проанализировано возможное влияние испарительного концентрирования на формирование их состава.

**Abstract.** In the article data about isotopic composition ( $\delta D$ ,  $\delta^{18}O$ ) of the Poyang Lake catchment groundwater is presented. Based on  $\delta D$  and  $\delta^{18}O$  isotopes correlation genesis of the investigated groundwater and influence of evaporation to the groundwater composition are identified.

Вопросы генезиса и формирования химического состава подземных вод бассейна оз. Поянху весьма актуальны в связи с особенностями экосистемы бассейна, на функционирование которой оказывают влияние как природные, так и антропогенные факторы, основным из которых является сельскохозяйственная деятельность с применением обводнения обширных территорий в связи с выращиванием риса и других культур. Следует также отметить, что неглубоко залегающие подземные воды используются населением для питьевых и хозяйственно-бытовых целей. В этой связи выяснение факторов их формирования и источников восполнения запасов приобретает особую важность. В данной статье рассмотрены вопросы генезиса подземных вод бассейна оз. Поянху, а также некоторые аспекты формирования их состава, связанные с процессами испарительного концентрирования, а также их возможной взаимосвязью с поверхностными водами.

Гидрогеохимическое опробование на территории водосборной площади оз. Поянху осуществлялось в октябре 2013 г. и марте 2014 г. Объектом исследования являлись неглубоко залегающие подземные воды, отобранные из бытовых колодцев и скважин и представляющие собой главным образом грунтовые воды. Для определения содержания изотопов  $\delta D$  и  $\delta^{18}O$  отбирали 100 мл воды в стерильные непрозрачные емкости. Аналитические работы были проведены в лаборатории Восточно-Китайского Технологического Института (г. Наньчан, Китай) с помощью изотопного масс-спектрометра с анализатором элементов TC/EA-IRMS (Finnigan MAT 253, Thermo Scientific). Изотопное отношение D/H определялось методом сжигания пробы при температуре 1350 °C, погрешность метода составляет  $\leq 2\%$ . Определение изотопного отношения  $^{18}O/^{16}O$  проводилось при температуре 25 °C после добавления 0,1% раствора  $CO_2$  и выдерживания 20 ч до состояния равновесия, погрешность метода  $\leq 2\%$ . Полученные данные (таблица) приведены относительно Венского стандарта среднеокеанической воды (V-SMOW).

Содержание  $\delta D$  изменяется от -21,5 до -42,6 ‰ (таблица). Содержание  $\delta^{18}O$  в грунтовых водах водосборного бассейна оз. Поянху варьируются в пределах от -3,5 до -7,1 ‰, что лишь несколько отличается от содержания  $\delta^{18}O$ , приведенных Г. Крейгом и Л. Гордоном для атмосферных осадков, формирующихся в приповерхностном слое морей и океанов тропических и субтропических областей (0 – -5 ‰) [4].

Корреляционная зависимость между содержанием стабильных изотопов дейтерия и кислорода-18 позволяют определить возможное происхождение природных вод и оценить вклад различных процессов в формирование их химического состава. Так

Г. Крейг [3] впервые установил зависимость между содержаниями  $\delta D$  и  $\delta^{18}O$  для атмосферных осадков, называемую глобальной линией метеорных вод или прямой Крейга (1):

$$\delta D = 8\delta^{18}O + 10\text{‰}, \quad (1)$$

где  $10\text{‰}$  – это параметр  $d$  (*excess parameter*), определяющий избыток дейтерия в атмосферных осадках по сравнению с его количеством в равновесном процессе, где  $d=0$  [2]. Однако тангенс угла наклона прямой, выражающейся уравнением (1), и параметр  $d$  могут несколько варьироваться в зависимости от удаленности источника формирования водяного пара от места выпадения осадков, температуры и других факторов. Поскольку уравнение (1) справедливо только при усреднении среднегодовых данных об изотопном составе  $\delta D$  и  $\delta^{18}O$  атмосферных осадков по различным районам земного шара, поэтому часто необходимо вводить региональные коэффициенты [2].

Таблица

Изотопный состав ( $\delta D$ ,  $\delta^{18}O$ ) подземных вод водосбора оз. Поянху, ‰

Номер пробы	$\delta D$	$\delta^{18}O$	Номер пробы	$\delta D$	$\delta^{18}O$
P2	-29,1	-3,5	P37	-42,1	-6,3
P7	-37,2	-6,1	P38	-41,2	-5,3
P8	-37,4	-6,1	P39	-34,4	-6,6
P9	-29,1	-5,1	P42	-39,4	-6,7
P10	-38,2	-6,2	P43	-39,0	-6,8
P11	-37,5	-6,2	P44	-32,8	-5,2
P12	-29,6	-5,8	P45	-26,8	-4,5
P13	-38,0	-6,5	P46	-28,7	-5,0
P14	-25,5	-4,6	P47	-40,0	-6,9
P15	-21,5	-3,7	P48	-35,3	-6,3
P16	-29,5	-4,6	P49	-37,1	-6,4
P17	-30,4	-4,3	P50	-37,2	-6,5
P18	-34,6	-5,5	P51	-42,6	-7,1
P19	-32,4	-5,3	P52	-39,7	-6,8
P20	-29,6	-4,9	P53	-38,9	-6,7
P24	-39,2	-6,4	P54	-30,4	-5,1
P25	-30,2	-5,8	P56	-35,4	-6,3
P27	-32,2	-5,9	P57	-25,0	-4,7
P28	-28,9	-5,8	P59	-35,3	-6,2
P29	-34,9	-6,8	P60	-34,0	-6,0
P30	-31,3	-5,6	P61	-31,4	-6,3
P32	-32,2	-6,2	P63	-28,2	-5,6
P33	-30,3	-5,9	P64	-31,8	-5,3
P34	-32,3	-6,0	P65	-29,6	-4,6
P35	-36,4	-6,3	P66	-30,3	-5,4
P36	-35,0	-6,2	P67	-32,7	-5,7

Соотношение изотопов дейтерия и кислорода-18 в исследуемых подземных водах оценивалось на основе уравнения Г. Крейга, модифицированного для регионов со среднегодовой температурой менее  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  и с учетом удаленности района исследований от океана, как основного источника формирования водяного пара, по

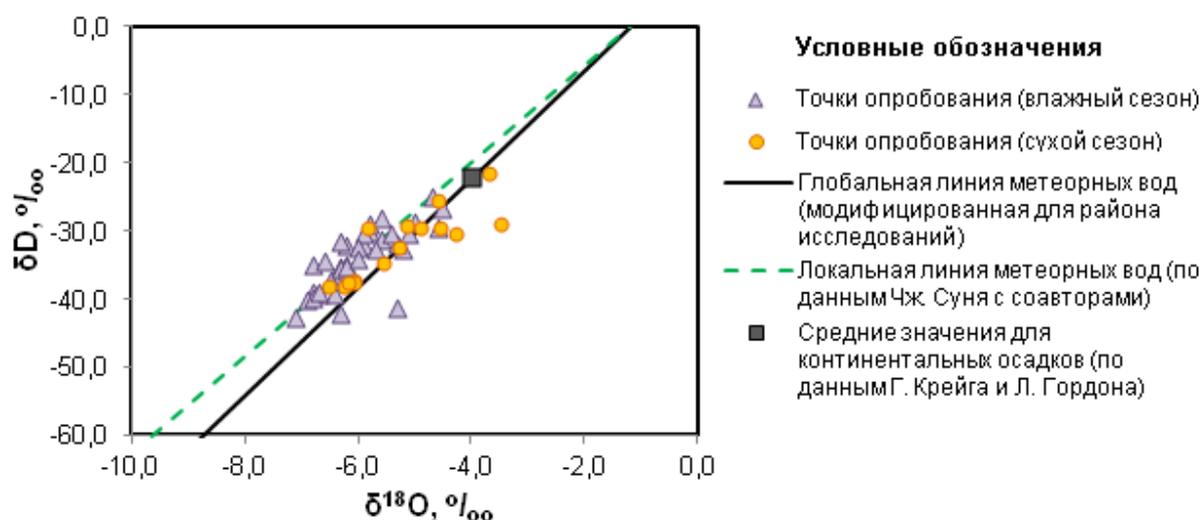
эмпирической зависимости, приведенной в работах [1, 2]. Исходя из этих данных, уравнение получило следующий вид:

$$\delta D = 8\delta^{18}O + 9,83\text{‰} \quad (2)$$

Также при изучении генезиса грунтовых вод учитывалось положение локальной прямой метеорных вод, полученное для области распространения термальных источников Лушань [7, 8, 10], которая располагается в непосредственной близости от района исследований к северо-западу от оз. Поянху и к юго-востоку от г. Лушань:

$$\delta D = 7,16\delta^{18}O + 8,88\text{‰}, (R^2 = 0,98) \quad (3)$$

Локальная линия метеорных вод хорошо аппроксимирует точки, соответствующие содержаниям  $\delta D$  и  $\delta^{18}O$  в подземных водах водосборного бассейна оз. Поянху (рис. 1).



**Рис. 1. Зависимость содержания изотопов  $\delta^{18}O$  от  $\delta D$  с нанесением данных по химическому составу исследуемых вод**

Также содержания изотопов  $\delta D$  и  $\delta^{18}O$  в подземных водах водосборного бассейна оз. Поянху близки к средним значениям, рассчитанным для континентальных осадков Г. Крейгом и Л. Гордоном [4], но несколько обеднены по сравнению с ними тяжелыми изотопами (рис. 1). Это может быть связано с большим количеством выпадающих осадков, поскольку установлено, что содержание изотопов  $\delta D$  и  $\delta^{18}O$  зависит от объема выпадающих осадков («количественный эффект») – чем больше на территории выпадает атмосферных осадков, тем сильнее они обеднены тяжелыми изотопами [5, 9].

Стоит отметить, что пробы, отобранные во время сухого сезона несколько больше обогащены тяжелыми изотопами кислорода и водорода, чем воды, отобранные в начале влажного сезона. Это можно объяснить разницей в величине осадков и испарения в разные сезоны года. Во время сухого сезона суммарная испаряемость обычно превышает количество осадков. В результате испарения в процессе инфильтрации через зону аэрации атмосферные осадки обогащаются  $\delta^{18}O$ , соответственно увеличивается и содержание тяжелых изотопов кислорода в подземных водах. Таким образом, обогащение грунтовых вод тяжелыми изотопами кислорода и связанные с этим редкие отклонения от линии метеорных вод, вероятно, вызваны влиянием испарительного концентрирования на формирование химического состава подземных вод в течение сухого сезона [2]. В начале влажного сезона, количество осадков резко увеличивается, в результате чего происходит обеднение подземных вод тяжелыми изотопами кислорода и водорода. Однако и среди проб, отобранных во влажный

период, встречаются воды, обогащенные тяжелыми изотопами кислорода и водорода. В этом случае отклонение от линии метеорных вод может объясняться тесной взаимосвязью подземных вод с поверхностными, которые подвержены более интенсивному испарению и, как следствие, обогащены тяжелыми изотопами [6]. При этом поверхностные воды в данном случае могут быть представлены как водоемами и водотоками, так и водой, используемой для обводнения рисовых полей, которая может просачиваться в водоносный горизонт. Однако этот вопрос требует дальнейшего изучения изотопного состава поверхностных вод в исследуемом районе.

Таким образом, можно заключить, что подземные воды водосборного бассейна оз. Поянху имеют метеорное происхождение. Влияние испарительного концентрирования на процессы их формирования незначительно и проявляется, главным образом во время сухого сезона.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 14-05-31267) и Государственного задания «Наука» № 5.1931.2014/К.*

### **Литература**

1. Поляков В.А., Колесникова Л.Н. Некоторые региональные аспекты формирования изотопного состава атмосферных осадков // Тезисы докладов VII Всесоюзного симпозиума по стабильным изотопам в геохимии. М.: ГЕОХИ, 1978. С. 148–149.
2. Ферронский В.И., Поляков В.А. Изотопия гидросферы земли. М.: Научный мир, 2009. 632 с.
3. Craig H. Isotopic variations in meteoric water // Science, 1961. Vol. 133. P. 1702–1703.
4. Craig H., Gordon L. Deuterium and oxygen-18 variations in ocean and marine // Stable Isotopes in Oceanographic Studies and Paleotemperatures. Spoleto, 1965. P. 9–130.
5. Dansgaard W. Stable isotopes in precipitation // Tellus, 1964. Vol. 19. P. 435–463.
6. Gonfiantini R., Gratzini S., Tongiorgi E. Environmental isotope hydrology in the Bodna region, Algeria // Isotope Techniques in Groundwater Hydrology. Proc. Symp. IAEA. 1974. Vol. 1. P. 293–316.
7. Sun Z., Li X. Studies of geothermal waters in Jiangxi Province using isotope techniques // Science in China (Series E), 2001. Vol. 44. P. 144–150.
8. Sun Z., Liu J., Gao B. Hydrogeochemistry and direct use of hot springs in Jiangxi Province, SE-China [Электронный ресурс] // Proceedings World Geothermal Congress; Bali, Indonesia, 25–29 April 2010. Режим доступа: <http://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/WGC/2010/2807.pdf>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения: 18.07.2015).
9. Yurtsever Y., Gat J.R. Stable isotopes in atmospheric waters // Stable isotope hydrology / Eds. J.R. Gat and R. Gonfiantini. Vienna: IAEA, 1981. P. 103–142.
10. Zhou W., Sun Z., Li X., Shi W. Studies of geothermal background and isotopic geochemistry of thermal waters in Jiangxi Province : China Nuclear Science and Technology Report : CNIC-01104. Beijing: China Atomic Energy Press, 1996. – 25 p.