

ГИДРОХИМИЯ ЙОДА И БРОМА В МИНЕРАЛЬНЫХ ВОДАХ СРЕДНЕГО ПРИХОПЕРЬЯ

О. А. Бабкина

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 29 января 2010 г.

Аннотация. *Изучено распределение йода и брома в минеральных водах бассейна среднего течения р. Хопер. Выявлены закономерности распространения и условия миграции тяжелых галоидов в подземных водах. Наибольшие концентрации йода и брома приурочены к хлоридно-натриевым водам повышенной минерализации. В геодинамическом плане йодо-бромные минеральные воды тяготеют к зонам крупных разрывных обрушений, являющихся подводящими каналами для глубинных подземных вод.*

Ключевые слова: *гидрохимия, минеральные воды, природные рассолы, йод, бром, тяжелые галоиды.*

Abstract. *Iodine and bromine distribution in mineral waters of pool of an average current of the river Hoper is studied. Laws of distribution and condition of migration of heavy haloids in underground waters are found out. The greatest concentration of iodine and bromine are dated to hloridno-natrievym waters of the raised mineralization. In the geodynamic plan jodo-bromic mineral waters gravitate to zones of the large explosive collapses which are bringing channels for deep underground waters.*

Key words: *hydrochemistry, mineral waters, natural brines, iodine, bromine, heavy haloids*

Высокоминерализованная вода и рассолы хлоридно-натриевого состава являются важнейшим источником получения йода и брома в промышленных количествах. Выяснение закономерностей распространения, условий миграции и концентрирования йода и брома в подземных водах играет чрезвычайно важную роль в решении проблем современной геохимии поверхностных и подземных вод. Велико значение йода и брома в бальнеологической оценке минеральных вод и определении их возможностей в качестве эффективного лечебного средства [1, 2].

Йод – очень редкий химический элемент, его литосферный кларк составляет 0,00004 %, в гидросфере его содержание не превышает 0,000005 %. Магматические породы обеднены йодом, его содержание здесь не превышает 10^{-5} – 10^{-6} %. Среди осадочных пород наиболее высоким содержанием этого элемента отличаются глины – $2,2 \cdot 10^{-4}$ %. Речные и грунтовые воды содержат мало йода. Среднее его содержание в водах нормальной солености (менее 1 г/дм³) составляет 0,0005 мг/дм³. Это же значение принято за показатель предельно допустимой концентрации для вод питьевого значения. Более высокие содержания йода характерны

для подземных вод, сопровождающих нефтяные и газовые месторождения (более 0,0015 мг/дм³) [3].

Йод – сильнотоксичный р-элемент. Атом йода ($5s^25p^2$) представлен одним стабильным изотопом ¹²⁷I и радионуклидами ¹³¹I ($T_{1/2}$ – 8 суток), ¹²⁹I ($T_{1/2}$ – $1,6 \cdot 10^7$ лет). Радионуклиды йода оказывают очень вредное влияние на человека и окружающую среду. Они являются типичными компонентами для газовых выбросов и попадают в атмосферу вследствие аварий атомных электростанций. В региональном плане отмечается недостаток стабильного изотопа йода, характерный для пресных вод в питьевом назначении и материковых ландшафтов, что вызывает эндемию зоба и сопутствующие заболевания. К таким областям относятся большинство районов европейской части России, в том числе и Черноземье.

Бром имеет среднюю степень токсичности. Атом брома ($4s^24p^5$) состоит из двух изотопов – ⁷⁹Br и ⁸¹Br, находящихся в природе в примерно равном соотношении [3]. Кроме того, в процессе ядерных превращений возникают радионуклиды брома, представленные двумя изотопами: ⁸²Br ($T_{1/2}$ – 36 ч) и ⁷⁷Br ($T_{1/2}$ – 37 ч). В геохимическом отношении этот элемент сходен с хлором, но в отличие от него представлен жидкостью. Магматические горные породы обеднены бромом ($n \cdot 10^{-5}$ %); заметно повышается его количество в глинистых сланцах и

карбонатах ($4-6 \cdot 10^{-4} \%$). Кларк брома в земной коре – $2,5 \cdot 10^{-4} \%$. Океанические воды имеют повышенное содержание брома – $6-7 \cdot 10^{-3} \%$. Пресные поверхностные воды гумидных областей обеднены этим элементом – $n \cdot 10^{-4} - n \cdot 10^{-5} \%$, а в аридных районах содержание этого элемента еще ниже – $n \cdot 10^{-5} - n \cdot 10^{-6} \%$. В грунтовых водах содержание брома составляет в среднем $0,02 \text{ мг/дм}^3$, в артезианских водах его содержание повышается до $0,04-1,06 \text{ мг/дм}^3$. Аналогично йоду бром накапливается в подземных водах нефтяных и газовых месторождений, где его содержание достигает $200-800 \text{ мг/дм}^3$. Предельно допустимая концентрация по бромю для пресной воды питьевого назначения составляет $0,2 \text{ мг/дм}^3$.

Изучено распределение йода и брома в минеральных водах Среднехоперской гидроминеральной провинции (восточная часть Воронежской области). Геолого-структурные особенности расположения источников минеральных вод характеризируются условиями краевой западной зоны Сурско-Хоперского артезианского бассейна. Геологический разрез сложен архейско-протерозойским комплексом пород, который перекрывается осадочными средне- и верхнедевонскими отложениями палеозоя. На размытой поверхности этих отложений залегают мезо-кайнозойские породы. Продуктивными на минеральные воды являются отложения девона, изученная мощность которых составляет $750-900 \text{ м}$. Литолого-фациальные условия и геохимическая обстановка девонского комплекса пород способствует формированию йодо-бромных и бромных минеральных вод с минерализацией от 20 до 140 г/дм^3 , которые тяготеют в основном к низам верхнего девона и к среднему девону [4]. В настоящее время в гидроминеральной провинции известно порядка 12 скважин, которые на глубинах $120-920 \text{ м}$ вскрыли йодо-бромные минеральные воды [5, 6]. Химический состав минеральных вод отдельных участков приведен в таблице.

Таблица

Химический состав йодо-бромных минеральных вод Среднехоперской гидроминеральной провинции (мг/дм^3)

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8
Ca^{2+}	6574,0	10139,2	1894,7	8118,4	1124,0	4930,8	8000,0	1600,0
Mg^{2+}	1869,9	2869,0	446,1	2649,0	406,9	1246,6	243,0	60,7
$(\text{Na}+\text{K})^+$	12 476,9	22 079,9	9053,5	21 503,6	4953,0	8686,4	45 000,0	4500,5
HCO_3^-	30,5	2,0	–	–	73,2	27,4	73,2	122,0
SO_4^{2-}	104,9	1,0	–	1495,9	1771,1	10,2	110,0	1600,5
Cl^-	36 231,7	60 330,6	18 605,6	54 132,9	9188,2	25 607,6	85 200,0	23 963,0
Br^-	50,0	229,0	70,0	200,0	22,5	35,0	250,2	75,0
I^-	3,5	4,1	1,0	5,4	1,2	3,0	5,4	2,1
M, г/дм^3	57,3	95,7	30,1	88,1	17,5	40,5	138,9	31,9
Жесткость, ммоль/дм ³	481,8	742,1	131,2	623,2	89,62	348,6	420,0	85,0
pH	5,2	5,3	6,5	5,6	6,9	5,3	5,7	6,7

Примечание: Борисоглебско-Поворинская субпровинция: 1 – с. Октябрьское Поворинского района, скв. 95; 2 – оз. Ильмень Поворинского района, скв. 267; 3 – с. Петровское Борисоглебского района, скв. 41517; 4 – г. Борисоглебск, скв. 266; Елань-Новохоперская субпровинция: 5 – пос. Елка Новохоперского района, скв. 8186; 6 – хут. Ильменский Новохоперского района, скв. 193; 7 – корд. Булдак Новохоперского района, скв. 194; 8 – корд. Гореловский Новохоперского района, скв. 198. 1–4, 6–8 – воды верхнесреднедевонских отложений; 5 – трещинные воды протерозойского комплекса норитов.

В гидрохимическом отношении йодо-бромные минеральные воды и рассолы характеризуются хлоридным кальциево-натриевым составом с минерализацией от $17,5$ до 139 г/дм^3 . Содержание йода меняется от $1,0$ до $5,4 \text{ мг/дм}^3$, брома – от 35 до 250 мг/дм^3 . Бром-йодное отношение довольно стабильно и варьирует по отдельным анализам в

пределах от 12 до 56 , что свидетельствует о синхронном накоплении этих элементов.

Ранее было отмечено, что минерализация йодо-бромных вод, определяемая в основном ионами хлора и натрия, повышается с глубиной. Исследователями химического состава и условий формирования йодо-бромных вод и рассолов отмечается,

что тяжелые галоиды – йод и бром, являются наиболее характерными специфическими компонентами подземных вод, сопровождающих нефтяные и газовые месторождения [7, 8]. Являясь по своему происхождению элементами преимущественно биогенными, они участвуют в составе органического вещества морских осадков в процессе нефтегазообразования. Пространственная связь йодобромных вод с нефтегазовыми месторождениями отмечается для большинства промышленных скоплений углеводородов. В осадочном чехле рассеянное органическое вещество, а также йод и бром представляют собой продукты единого процесса преобразования органики, протекающего в условиях высоких температур и давлений. В дальнейшем углеводороды и сопровождающие их глубинные хлоридно-натриевые растворы с йодом и бромом по зонам крупных тектонических нарушений перемещаются в более высокие горизонты земной коры до глубин, на которых литолого-структурные условия благоприятны для образования скоплений нефти, газа и сопровождающих их йодобромных вод. Последние локализуются в артезианских бассейнах, приуроченных к крупным тектоническим структурам. В пределах Среднехопер-

ской гидроминеральной провинции таким является региональный Новохоперско-Шумилинский разлом, разделяющий приподнятый Восточно-Воронежский блок и эпиплатформенную Хоперско-Камышинскую впадину. Непременным условием высоких концентраций йода и брома является наличие мощных толщ морских отложений, обогащенных органическим углеродом, что предопределяет парагенетическую связь йодо-бромных вод с нефтегазовыми залежами.

В экологическом отношении йод и бром изучены недостаточно. Однако установлено, что несмотря на низкие величины распространенности в литосфере, эти элементы проявляют высокую атмо-, гидро- и биофильность [3]. Природные концентрации этих элементов весьма подвижны, они образуют соединения с хлором, натрием, а в глубинных подземных водах их концентрация полностью определяется уровнем минерализации (рис. 1, 2). Поведение йода и брома в подземных водах нормальной солености должно привлечь пристальное внимание, особенно в связи с важной эколого-физиотерапевтической проблемой их дефицитности и радиационного воздействия на биосферу отдельных изотопов этих элементов.

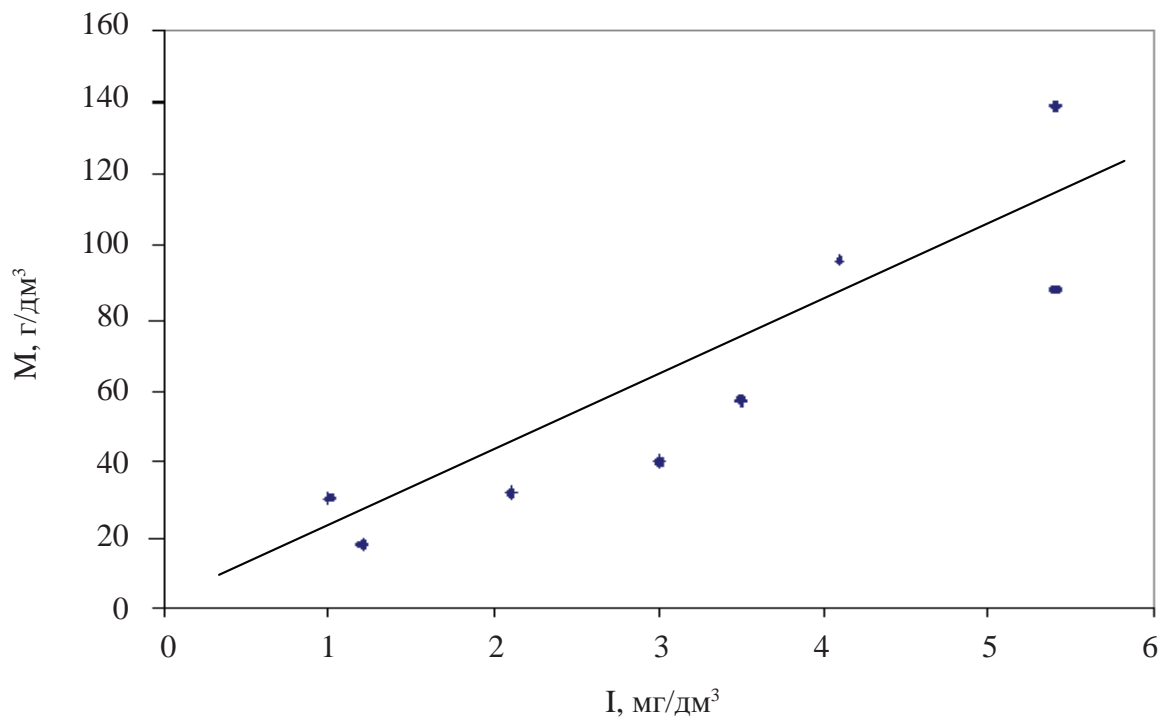


Рис. 1. График зависимости содержания йода в подземных водах от минерализации

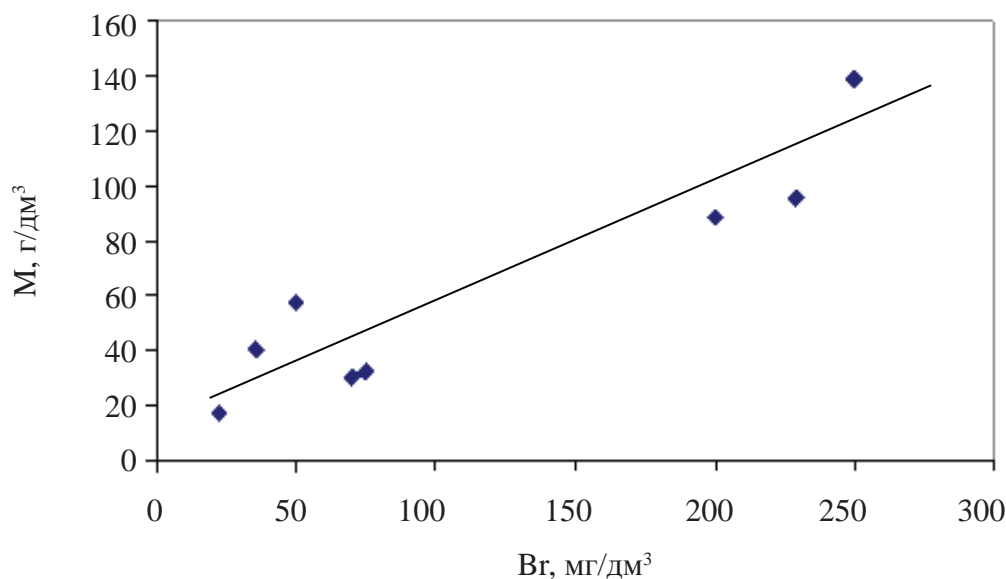


Рис. 2. График зависимости содержания брома в подземных водах от минерализации

ЛИТЕРАТУРА

1. Перельман А. И. Геохимия природных вод / А. И. Перельман. – М. : Наука, 1982. – 154 с.
2. Розан Б. Я. Геохимия брома и йода / Б. Я. Розан. – М. : Недра, 1970. – 144 с.
3. Иванов В. В. Экологическая геохимия элементов / В. В. Иванов. – М. : Недра, 1996. – Кн. 3. – 352 с.
4. Смирнова А. Я. Минеральные воды Воронежской области (лечебные и лечебно-столовые) / А. Я. Смирнова, В. Л. Бочаров, В. Ф. Лукьянов. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 1995. – 182 с.
5. Бабкина О. А. Эколого-бальнеологические свойства йодо-бромных минеральных вод в восточной части Воронежской области / О. А. Бабкина // Вопросы региональной экологии : тез. докл. III Регион. науч.-техн. конф. – Тамбов : Тамбов. гос. ун-т, 1998. – С. 44–45.

6. Бочаров В. Л. Бромные и йодо-бромные минеральные воды Среднехоперской гидроминеральной провинции (Воронежская область) / В. Л. Бочаров, О. А. Бабкина // Реализация региональных научно-технических программ Центрально-Черноземного региона : материалы науч.-практ. конф. – Воронеж : Воронеж. гос. техн. ун-т, 1997. – С. 55–57.

7. Кирюхин В. К. Процессы формирования йодных вод / В. К. Кирюхин, В. М. Швец. – М. : Недра, 1980. – 95 с.
8. Кудельский А. В. Геохимия, формирование и распространение йодо-бромных вод / А. В. Кудельский, М. Ф. Козлов. – Минск : Наука и техника, 1970. – 144 с.

Рецензент И. И. Косинова

Воронежский государственный университет
О. А. Бабкина, преподаватель кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии
Тел. 8 (4732) 208-980

Voronezh State University
O. A. Babkina, teacher of Chair of Hydrogeology, Engineering Geology and Geoecology
Tel. 8 (4732) 208-980