

соотношение площади боковой поверхности сосуда ω к объему воды W (при условии, что $W = \text{const}$), а следовательно, будет быстрее замерзать вода и требуется меньшее время для ее очистки методом вымораживания.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Рациональное использование водных ресурсов: Учеб. для вузов // С.В. Яковлев, И.В. Прозоров, Е.Н. Иванов, И.Г. Губий. — М.: Высшая школа, 1991. — 400 с.
2. Запольський А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води: Підручник. — К.: Вища школа, 2005. — 671 с.
3. П. Хоружий, О. Хомутецький. Ця загадка вода. Підготовка якісної і цілющої води виморожуванням // Водне господарство України, 2008, № 1. — С. 31-36.
4. Лаврик Н.Л. Возможность очистки воды от растворенных гидрофобных и гидрофильных органических примесей методом замораживания при -17°C // Химия в интересах устойчивого развития. — М.: 2004, №12. — С. 61-65.
5. Слесаренко В.Н. Современные методы опреснения морских и соленых вод. — М.: Энергия, 1973. — 248 с.

Беляева Людмила, Гусалов Дмитрий
(Гомель, Беларусь)

ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ НАКОПЛЕНИЯ БРОМА И ЙОДА В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА

Известно несколько источников и методов получения йода и брома. До 60-х годов прошлого столетия единственным источником промышленного производства этого элемента служили морские водоросли, способные извлекать его из морской воды и аккумулировать. С 1868 г. йод стали получать из отходов селитряного производства, в которых есть йодид, йодат и бромат натрия. Позже был найден еще один источник получения йода и брома – подземные воды и рассолы. Йод и бром являются одними из тех элементов, без которых невозможно развитие современной промышленности, авиационной и ракетной техники, медицины и т.д. В большинстве экономически развитых стран (Россия, США, Япония, Италия и др.) добычей этих элементов заняты целые отрасли промышленности.

Известно, что важнейшее звено в геохимическом цикле йода и брома связано с жизнедеятельностью живого вещества и с последующими этапами его преобразования в составе осадков и горных пород. В этом отношении геохимическая история йода и брома в осадочной толще земной коры имеет много общего с историей нефти, в связи с чем значительный интерес приобретает изучение проблемы использования йода в качестве возможного показателя перспектив нефтегазоносности крупных территорий и локальных геологических структур.

На территории Беларуси находится один из важнейших нефтегазоносных и артезианских бассейнов – Припятский прогиб. Припятский нефтегазоносный артезианский бассейн связан с одноименной

тектонической впадиной, выраженной глубоким погружением кристаллического фундамента и выполненной мощной толщей верхнепротерозойских, палеозойских и мезокайнозойских отложений. Глубина залегания фундамента в пределах впадины 500-6000 м. Максимальная длина Припятского прогиба 280 км, ширина до 130 км, общая площадь около 34 тыс. км².

В сводном гидрогеологическом разрезе Припятского прогиба выделяется ряд водоносных комплексов, приуроченных к отложениям верхнего протерозоя, среднего и верхнего девона, нижнего и среднего карбона, нижней и верхней перми, нижнего триаса, верхней и средней юры, нижнего и верхнего мела, палеогена, неогена и антропогена. Подземные воды, обогащенные йодом, бромом и другими микрокомпонентами, как и промышленные месторождения нефти, связаны с отложениями девона. В связи с этим, давая характеристику Припятского артезианского бассейна ограничимся описанием только подземных вод девонских отложений.

В разрезе девонских отложений выделяется четыре водоносных комплекса с различными гидродинамическими и гидрогеохимическими особенностями. Первый, или нижний, водоносный комплекс заключен в терригенных и карбонатных породах подсолевых отложений, второй в межсолевых отложениях, третий – в песчано-глинистых и карбонатных породах верхней соленосной толщи и четвертый – в известняково-доломитовых надсолевых отложениях. Девонские отложения смяты в многочисленные сложно построенные складки.

Подземные воды девонских отложений по своей минерализации (200 – 437 г/л) являются типичными крепкими рассолами, в их ионном составе преобладают хлор и натрий, при минерализации свыше 330 – 385 г/л среди катионов, как правило, превалирует кальций. Минерализация подземных вод возрастает с увеличением глубины их залегания: от 73 – 333 г/л в верхнесолевом комплексе, до 158 – 388 г/л в межсолевом и 437 г/л в подсолевом водоносном комплексе.

Содержание брома в подземных водах возрастает с увеличением их минерализации. Что касается йода, то определённой взаимосвязи между составом вод и его содержанием не устанавливается, хотя можно отметить, что повышенные концентрации йода (свыше 20 мг/л) характерны для рассолов (330 – 437 г/л) хлоридно-кальциево-натриевого типа [1, с. 26].

Высокие концентрации брома и йода в природных водах Припятского прогиба указывают на то, что рассолы нашей области весьма перспективны в отношении выделения этих элементов с целью их дальнейшего использования. Поэтому одним из основных вопросов является наиболее интенсивное и максимально выгодное извлечение этих элементов из природных рассолов.

Цель настоящей работы заключалась в изучении условий благоприятствующих накоплению йода и брома в природных водах Припятского прогиба. В частности выявление существования прямых и обратных зависимостей для ионов брома и йода, а также основных катионов и анионов.

Объектом исследования являются рассолы Припятского нефтегазоносного артезианского бассейна. С Припятской прогибом связан

крупный бассейн подземных вод, в разрезе которого выделяются два гидрогеологических этажа: верхний и нижний. Верхний охватывает мезокайнозойские, пермские, каменноугольные и частично надсолевые верхнедевонские отложения. Нижний гидрогеологический этаж, в объеме которого выделяются водоносные комплексы подсолевых и межсолевых карбонатно-терригенных отложений, по гидродинамической характеристике является деградировавшим элизионно-термогидродинамическим бассейном.

Рассолы с минерализацией 250 – 300 г/л распространены на периферии прогиба, более высококонцентрированные рассолы (300 – 350 г/л) тяготеют к внутренним частям депрессии. Преимущественным же распространением в разрезе девонских отложений пользуются рассолы с минерализацией 350 – 400 г/л. В виде локальных площадей отмечаются зоны развития рассолов с содержанием солей свыше 400 – 450 г/л. Температура рассолов колеблется в широких пределах от 30° до 60 – 70°C, при этом температура зависит от глубины расположения рассола.

Правильную характеристику рассолов можно получить только в тех случаях, если проба отобрана для анализа с большой тщательностью. После отбора проб воды анализ должен быть проведен как можно быстрее. Даже в герметически закрытом сосуде с течением времени происходит изменение соленого и газового состава.

С целью изучения накопления йода и брома в рассолах Припятского прогиба нами было проанализировано 10 образцов природных рассолов, отобранных в различных участках изучаемого региона. Определение концентраций йода и брома проводилось гипохлоритным методом, а микро- и макрокомпонентный состав определялся стандартными методами [2, с. 123].

Таблица 1 – Зависимость содержания йода и брома в природных водах Припятского прогиба от анионов, мг/л

№ п/п	Скважина, №	I ⁻	Br ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
1	Городокская,4	следы	следы	854,85	174463,16	3389,90
2	Ручаевская,1	4,79	109,24	1098,00	119262,00	949,60
3	Речицкая,76р	5,00	911,14	240,00	127740,08	937,00
4	Речицкая,160р	5,60	1044,30	168,00	112031,11	504,10
5	Речицкая,166	7,61	1097,63	122,00	124794,17	785,99
6	Речицкая,68р	11,38	1055,60	97,60	123376,01	725,00
7	С-Дубровская,1	11,63	199,11	1317,60	152478,00	1201,60
8	Речицкая,63	23,40	863,12	36,60	13303,00	421,80
9	Речицкая,40	25,20	953,71	40,80	119831,22	432,15
10	Моршовичская,2	28,90	999,02	54,90	187938,05	425,90

Исходя из результатов анализа, приведенных в таблице можно говорить о том, что изученные природные рассолы относятся к хлоридно-натриево-калиевому типу. В составе этих рассолов наиболее весомое место занимают катионы натрия, калия, кальция, магния; хлорид-, гидрокарбонат- и сульфат-анионы. Находясь в природных рассолах в различных соотношениях по сравнению с йодом и бромом, эти ионы оказывают различное влияние на распределение и накопление последних.

Гидрокарбонат-ион является одним из наиболее характерных компонентов йодо-бромных подземных вод и рассолов. В данных рассолах

минимальным концентрациям гидрокарбонат иона 36,60 и 54,90 мг/л соответствуют максимальные концентрации йодид-иона 23,4 и 28,9 мг/л, и средние концентрации бромид-иона 863,12 и 999,02 мг/л. Наибольшим содержаниям гидрокарбонатов 1317,60 мг/л – средние концентрации йодидов – 11,63 мг/л и минимальное содержание бромидов – 199,11 мг/л.

Соотношению между содержаниями йода и сульфатами свойственна обратно пропорциональная зависимость, т.е. с увеличением содержания йода концентрация сульфатов понижается. Максимальным концентрациям йода 28,9 мг/л отвечают минимальные содержания сульфатов – 425,90 мг/л. Минимальные содержания йода в следовых количествах соответствуют наибольшим содержаниям сульфатов – 3389,9 мг/л. Такая зависимость между содержанием анализируемого йода и сульфат-ионов может быть объяснена различием их генезиса, а также тем, что крепкие и сверхкрепкие рассолы являются, как правило, термальными. В связи с этим сульфаты очень неустойчивы в таких водах.

Зависимости содержания между бромом и сульфат-ионами не наблюдается. Максимальные концентрации брома 1097,60 мг/л соответствуют средним концентрациям сульфатов – 785,99 мг/л. Минимальное содержание брома в следовых количествах соответствует максимальному содержанию сульфатов – 3389,90 мг/л.

Наиболее значительные концентрации йода связаны с подземными водами и рассолами, в анионном составе которых преобладает хлор. В исследуемых рассолах содержание хлорид-иона довольно велико и колеблется от 13303,00 до 187938,05 мг/л. Однако о четкой прямой пропорциональной зависимости между содержанием йода и хлора говорить нельзя из-за недостатка и разброса данных. Но можно предполагать, что такая зависимость существует.

Соотношения между концентрациями йода и брома слабо изучены. Принципиальными различиями в геохимии йода и брома объясняется близкая к обратной общая зависимость между содержанием йода и брома в пластовых водах. Ввиду ограниченного количества экспериментальных данных трудно сделать вывод о взаимном влиянии этих компонентов на их геохимию. Минимальным концентрациям йодидов (следы) отвечает минимальное содержание бромидов (следы) и наоборот – большим количествам йодидов (28,90 мг/л) – большие количества бромидов (999,02 мг/л).

Таблица 2 – Зависимость содержания йода и брома в природных водах Припятского прогиба от катионов, мг/л

№ п/п	Скважина, №	I ⁻	Br ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺
1	Городокская,4	следы	следы	8016,00	754,40	104467,80
2	Ручаевская,1	4,79	109,24	14278,00	151,90	704,40
3	Речицкая,76р	5,00	911,14	17436,80	2187,50	48019,40
4	Речицкая,160р	5,60	1044,30	19238,40	19238,40	1458,40
5	Речицкая,166	7,61	1097,63	24048,00	2673,60	48463,60
6	Речицкая,68р	11,38	1055,60	18636,80	2795,70	53790,10
7	С-Дубровская,1	11,63	199,11	27054,00	3037,50	63093,60
8	Речицкая,63	23,40	863,12	16833,60	1944,50	63120,00
9	Речицкая,40	25,20	953,71	17835,20	2673,60	52489,60
10	Моршовичская,2	28,90	999,02	45090,00	3037,00	64861,60

В катионном составе рассолов Припятского прогиба преобладают катионы натрия, калия, кальция, магния. Все известные в настоящее время рассолы с высочайшими концентрациями йода и брома отличаются преобладанием натрия и калия в составе катионов.

Концентрация кальция в исследуемых рассолах весьма значительна и изменяется от 8016,00 мг/л до 45090,00 мг/л. Для ионов йода и брома в некоторой степени проявляется прямая зависимость от содержания кальция. Минимальным содержаниям йодидов и бромидов (следы) соответствует минимальная концентрация ионов кальция 8016,00 мг/л. Максимальным концентрациям йодидов 28,90 мг/л соответствует максимальная концентрация ионов кальция 45090,00 мг/л, максимальным концентрациям бромидов 1097,63 мг/л соответствует средняя концентрация ионов кальция – 24048,00 мг/л.

Соотношения между йодом и ионами магния не прослеживаются. Минимальным концентрациям йодидов (следы) соответствует средняя концентрация ионов магния 754,40 мг/л. Максимальным концентрациям йода 28,90 мг/л соответствует высокая концентрация ионов магния 3037,00 мг/л. Для брома также не характерна зависимость.

Зависимость содержания йодидов и бромидов от суммы ионов калия и натрия не выражена, хотя в некоторой степени прослеживается прямая зависимость.

Результаты математически обработаны и показали, что в результате проделанной работы можно сделать следующие выводы:

1. Установлено, что накопление ионов брома в природных водах Припятского прогиба не зависит от анионного состава; накопление йода находится в обратной зависимости от карбонат- и сульфат-ионов.

2. Содержание ионов брома находится в прямой зависимости от кальций-ионов и в обратной от суммы катионов калия и натрия; а ионов йода не зависит от катионного состава.

3. Результаты работы позволяют рекомендовать для выделения йодид-ионов минеральные рассолы с высокой концентрацией ионов аммония и низким содержанием гидрокарбонат-ионов; ионов брома с высоким содержанием кальций-ионов и низким содержанием суммы катионов калия и натрия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кудельский, А.В. Геохимия, формирование и распространение йодо-бромных вод / А.В. Кудельский, М.Ф. Козлов. – Минск: Наука и техника, 1970. – 144 с.
2. Резников, А.А. Методы анализа подземных вод / А.А. Резников, Е.П. Муликовская, И.Ю. Соколов. – 3-е изд., переработ. и доп. – М.: изд-во Недра, 1970. – 488 с.