Геохимия промышленных рассолов Хорейверской впадины Печорского артезианского бассейна (Россия)

Митюшева Т. П., Амосова О. Е.

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия, E-mail: mityusheva@geo.komisc.ru

АННОТАЦИЯ: Показаны особенности формирования промышленных Cl–Na (Na–Ca) рассолов Хорейверской впадины Печорского бассейна на основе факторного анализа гидрохимических данных. Выявлены основные факторы, влияющие на накопление элементов в подземных водах. Проведена оценка степени концентрирования ценных компонентов в различных водоносных комплексах О–Т возраста.

Geochemistry of industrial brines of the Khoreyver depression of the Pechora artesian basin (Russia)

Mityusheva T. P., Amosova O. E.

Institute of Geology of the Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktivkar, Russia, E-mail: mityusheva@geo.komisc.ru

The specific features of the formation of industrial Cl – Na (Na–Ca) brines of the Khoreyver depression of the Pechora basin based on factor analysis of hydrochemical data are shown. The main factors affecting the accumulation of elements in groundwater are identified. The degree of concentration of valuable components in various aquifers (O – T age) was madid.

ВВЕДЕНИЕ

Проведенные А.Ф. Горбачевым (1961), ГП. Лысениным и др. (1969), В. М. Поповым (1979), В.М. Мильковым и др. (1985–91) и другими региональные исследования подземных вод Тимано-Печорского седиментационного бассейна показали, что пластовые рассолы являются кондиционным минеральным сырьем по содержанию полезных компонентов (Br, J, B, Sr, Li, Rb, солей кальция, натрия, калия и магния) [1, 5–7].

Целью работы является геохимическая характеристика пластовых рассолов Хорейверской впадины Печорского артезианского бассейна и выявление условий, способствующих накоплению ценных компонентов в водоносных комплексах (ВК).

Хорейверская впадина (рис. 1) – структура первого порядка Хорейверско-Печороморской синеклизы, с размерами 230 x 140 км [8]. Наличие погребенного Большеземельского палеосвода фундамента в значительной степени предопределило особенности строения и мощности (4–7 км) осадочного выполнения Хорейверской впадины. Длительные перерывы в осадконакоплении, сопровождались глубокими размывами (средне-ордовикских, верхнесилурийских, девонских, нижнекаменноугольных, нижнепермских) отложений до полного их отсутствия [4]. По мезозойскому и верхнепалеозойскому комплексам отложений Хорейверская впадина открывается в сторону акватории Печорского моря [8]. В пределах данной территории выявлено более 50 месторождений нефти и газа.

Рис. 1. Положение Хорейверской впадины

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Гидрогеологические данные по ВК от четвертичных до ордовикских отложений Хорейверской впадины накоплены с 70-х годов прошлого века. Разрез изучен до глубины 4,9 км. Результаты химического анализа вод по 359 точкам опробования собраны из фондовых и опубликованных работ различных организаций: ПГО «Ухтанефтегазгеология», ПГО «Архангельскгеология», ВНИИГАЗ, ТПО ВНИГРИ (ТП НИЦ), ВСЕГИНГЕО, ПечорНИПИнефть и др. Пластовые рассолы приурочены к водоносным комплексам: среднеордовикских, силурийских и нижнедевонских карбонатных отложений (O₂–S–D₁); верхнедевонско–нижнекаменноугольных (семилюкско–турнейских) карбонатных отложений (D₃–C₁); нижнекаменноугольно–нижнепермских (верхневизейско–нижнепермских) карбонатных отложений (C₁–P₁);

терригенных пермских (P₁₋₃) и триасовых (T) отложений.

Расчет статистических характеристик проведен с использованием программы Statistica 6.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Рассолы (минерализация свыше 35 г/л) Хорейверской впадины приурочены к водоносным толщам палеозоя и триаса (древнее T_{23nm}), залегающим на глубинах более 1150 м в зонах затрудненного и весьма затрудненного водообмена. Химический состав рассолов всех ВК хлоридный натриевый или кальциево-натриевый (Na – 57–84 и Ca – 11–38 %-экв), они относятся к хлоридному типу по классификации Курнакова–Валяшко ($r_{Na/rCl} < 0,85$, $Cl/Br < 293$, $(r_{Na+rMg}/r_{Ca}) = 1.6-7.7$). Величина общей минерализации вод достигает 214 г/л, температура до 99°C, геотермический градиент варьирует в пределах 1.6–3.0°C/100м. Подземные воды имеют азотно-метановый состав водорастворенных газов, содержат сероводород до 154 мг/л. На рисунке 2 приведены медианные содержания основных анионов и катионов, ценных компонентов (Br, I, B, Sr, Li) в ВК га-логенных (преимущественно карбонатных) O₂–S–D₁, D₃–C₁, C–P₁ и терригенных P₂, T отложений.

Рассолы Хорейверской впадины карбонатных ВК палеозоя (O₂–S–D₁, D₃–C₁, C–P₁) являются промышленными поликомпонентными Li–Sr йодобромными (I>10, Br>200 мг/л). Йодобромные Li–Sr воды (I>10, B>75 мг/л) связаны в основном с ВК O₂–S–D₁ и D₃–C₁ отложений. Возможность накопления ценных элементов в пластовых водах впадины обусловлена морскими условиями осадконакопления в палеозое, высокой степенью постседиментационных преобразований вод и пород. Степень катагенетического преобразования органического вещества пород древнее раннепермского возраста соответствует прото- и мезокатагенезу (МК₁–МК₅ при R^a>7.0) [4].

Выявлено закономерное повышение концентраций макро- и микрокомпонентов с глубиной до 3200 м. В разрезе в O₂–S–D₁ ВК (рис. 2) наблюдается гидрохимическая инверсия – снижение содержаний ряда элементов и величины общей минерализации относительно D₃–C₁ ВК. Причиной этого может быть опресняющее воздействие пресных палеоинфильтрационных вод, проникших в период предраннефранского размыва, особенно на приподнятых участках. Возможно и флюидное питание за счет конденсационных, солюционных, дегидратационных вод.

Накопление химических элементов в подземных водах ВК оценено с помощью коэффици-

ента концентрирования (Кк) (рис. 3), представляющего собой отношение содержания элемента в исследуемых рассолах к среднему составу морской воды по М. Г.Хорн [9] и В.В.Гордееву [3]. Рассолы Хорейверской впадины значительно более насыщены (до 300-кратного количества по медианным значениям) элементами, чем морская вода, минерализация вод возросла до 5 раз (рис. 3). Исключением являются низкие концентрации сульфат-иона по всему разрезу, Кк которого составляют 0,01–0,33, а также Кк_{Mg} и Кк_{HCO₃} <1 в ВК пермских и триасовых отложений. Максимальная степень накопления наблюдается по отдельным пробам для йода Кк_I≤1057, лития Кк_{Li}≤227 и стронция Кк_{Sr}≤108. Из ценных компонентов наименьшее значение Кк имеет бром, степень его концентрирования аналогична натрию и хлору.

Рис. 2. Распределение содержаний (медиан) компонентов в рассолах водоносных комплексов Хорейверской впадины.

Интенсивность миграции и накопления элементов по ВК оценена путем сопоставления с хлором (Кк_{Cl} от 1,5 для вод триаса, до 5,7 для D₃–C₁ ВК), источником которого являются первичные морские (океанические) воды, и он почти не участвует во вторичных процессах преобразования вод и пород. Элементы (I, Li, Sr, Ca, Br),

имеющие Кк выше величин K_{Cl} , имеют кроме процессов концентрирования седиментогенных вод и другие источники поступления в подземные рассолы. Источником элементов могут служить водомещающие разнообразные по литологическому составу породы, органическое вещество. Дефицит относительно морской воды сульфат-иона, магния и гидрокарбонат-иона свидетельствует об их активном участии в процессах ионного обмена, сульфатредукции и вторичного минералообразования – образования доломита, гипса, ангидрита и др.

Рис. 3. Распределение коэффициента концентрации элементов (Кк) в рассолах Хорейверской впадины (отношения величины медиан компонентов в ВК к морской воде по [3, 9])

Факторный анализ (методом главных компонент) для подземных рассолов Хорейверской впадины, выполненный по 82 точкам опробования (выборка осуществлена по всем компонентам) показал, что на формирование и пространственное (в плане и геологическом разрезе) распределение рассолов влияют четыре основных фактора, которые объясняют 77 % общей дисперсии выборки. Выбор числа факторов проведен на основе критериев Кайзера и «каменистой осыпи».

Признаковая структура первого фактора выделяется наиболее четко (48,6 % общей дисперсии исходных характеристик), высокие факторные нагрузки ($>0,7$) приходятся на содержания Cl, Na, Ca, K, Br, величину минерализации и глубину залегания ВК. Фактор объясняет процессы формирования состава подземных рассолов за счёт концентрирования погребенных вод морских (или осолоненных) бассейнов. Второй

фактор (15,0% общей дисперсии) показывает влияние вторичных преобразований (растворение и выщелачивание, сорбционные и ионообменные реакции и др., образование вторичных доломитов и ангидритов, сульфидов и др. минералов) в системе взаимодействия вода – порода – газ – органическое вещество на химический состав хлоридных рассолов. Большие (до 0,7) нагрузки характерны для Mg и Sr, значительные отрицательные корреляционные связи с фактором имеют сульфат- и гидрокарбонат ионы. На третий и четвертый факторы приходится менее 10% общей дисперсии признаков на каждый. Фактор 3 отмечен умеренными (0,4–0,5) нагрузками на йод и коэффициент метаморфизации вод ($r_{Na/rCl}$) и отрицательными на бор и стронций. Совокупность признаков отражает эпигенетические преобразования рассеянного органического вещества пород под воздействием повышающейся температуры по мере увеличения глубины залегания. Четвертый фактор показал единственную сильную нагрузку для гидрокарбонат-иона. Вероятно, он также как и второй фактор, иллюстрирует влияние на состав вод катагенетических изменений органо-минерального комплекса водомещающих отложений. Наибольшее присутствие иона HCO_3^- наблюдается в отдельных точках опробования рассолов различных структур Хорейверской впадины карбонатных ВК О–S–D₁, D₃–C₁, C–P₁ при pH $>5,5$ на глубинах свыше 2,0 км и температуре 50–90°C. Содержания ионов HCO_3^- и водорастворенной CO₂ определяют процессы растворения и выщелачивания пород, образование вторичных карбонатов и др.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В формировании химического состава промышленных хлоридных рассолов Хорейверской впадины в условиях замедленного водообмена выделено несколько основных факторов, ведущую роль играют процессы концентрирования седиментационных вод морского генезиса, ионный обмен и эпигенетические постседиментационные преобразования органо-минерального комплекса водомещающих отложений в системе взаимодействия вода–порода–газ–органическое вещество.

В рассолах, находящихся в зоне катагенеза, с увеличением глубины залегания отложений и температуры наблюдается метаморфизация вод, которая выражается в изменении состава подземных вод (в большей степени катионов – снижении доли Ca^{2+} и росте Na^+), в уменьшении хлорбромного и магнийхлорного генетических коэффициентов. Выявлен инверсионный тип гидрохимической зональности подземных

вод Хорейверской впадины, характерный для Печорского бассейна в целом.

Статистическими методами установлено, что рассолы, приуроченные к карбонатным ВК палеозоя (O_2-S-D_1 , D_3-C_1 , $C-P_1$) и терригенным пермским и триасовым породам, существенно различаются по составу макро- и микрокомпонентов, что свидетельствует не только о различной степени метаморфизации вод и катагенетических изменений отложений, но и об обособленности развития ВК за длительный период геологической истории. А также доказывает отсутствие перетоков между ВК и хорошие изолирующие свойства региональной нижнепермской ($P_{1ag}-P_{1k}$) терригенно-галогеновой флюидоупорной толщи.

Исследования распространения по площади Хорейверской впадины и в гидрогеологическом разрезе промышленных йодобромных и йодоборных вод, обогащенных редкими металлами (Sr, Li и др.), подтвердили перспективность рассолов допермского возраста для комплексного извлечения полезных компонентов. Наиболее перспективным объектом для извлечения гидроминерального сырья являются рассолы D_3-C_1 и $C-P_1$ отложений.

Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания по теме «Научные основы эффективного недропользования, развития и освоения минерально-сырьевой базы, разработка и внедрение инновационных технологий, геолого-экономическое районирование Тимано-Североуральского региона» (№ 0416-2016-0006)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко С. С., Куликов Г. В. Подземные промышленные воды. – М.: Недра, 1984.
2. Валяшко, Поливанова А. И., Жеребцова И. К. и др. Геохимия и генезис рассолов Иркутского амфиотеатра. – М.: Наука, 1965. – 160 с.
3. Гордеев В.В., Лисицын А.П. Микроэлементы // Химия океана. Т.1. Химия вод океана. – М.: Наука, 1979. – С.337–375.
4. Данилевский С. А., Складорова З. П., Трифачев Ю. М. Геофлюидальные системы Тимано-Печорской провинции. – Ухта, 2003. – 298 с.
5. Лысенгин Г. П., Солнцев О.А., Осинников А.Н. и др. Составление прогнозной карты эксплуатационных ресурсов йодо-бромных вод и других микроэлементов вод нефтяных месторождений – Ухта, 1969. Рукописная.
6. Мильков В.М. Люосев В.Г., Руфов С.Б. Геолого-экономическое обоснование целесообразности использования попутных и пластовых вод нефтяных и газовых месторождений Тимано-Печорской провинции в качестве сырьевого источника. – Ухта, 1991. Рукописная.
7. Митюшева Т. П., Амосова О.Е. Применение факторного анализа при изучении подземных промышленных йодобромных вод Тимано-Североуральского региона // Вода: химия и экология. – 2013. – № 9. – С. 78–86.
8. Прищепа О. М., Богацкий В. И., Макаревич В. Н., Чумакова О. В. Новые представления о тектоническом и нефтегазогеологическом районировании Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2011.– Т. 6. – № 4. URL: http://www.ngtp.ru/rub/4/40_2011.pdf (дата обращения: 05.09.2017).
9. Хорн Н. А. Морская химия: структура воды и химия гидросферы. – М.: Мир, 1972. – 398 с.