

Гидрогеологические условия додевонских отложений в северо-восточных районах Волго-Уральской нефтегазоносной провинции и сопредельных территориях

Ю.А. Яковлев

к.г.-м.н., директор по научной работе
yakovlev@niikigs.ru

С.Е. Башкова

к.г.-м.н., зав. сектором научного сопровождения параметрического и сверхглубокого бурения, ученый секретарь
sbashkova@niikigs.ru

АО «КамНИИКИГС», Пермь, Россия

В статье рассмотрены гидрогеологические условия додевонских отложений северо-восточной части Волго-Уральской нефтегазоносной провинции. На основе комплексного анализа уникальных данных о термодинамических параметрах разреза, составе и свойствах флюидов оценены наиболее общие гидрогеологические закономерности додевонского комплекса. Установлена определенная общность гидрогеохимических характеристик рифейско-вендской гидрогеологической серии с девонскими терригенными отложениями в контуре Камско-Бельского авлакогена, и благоприятные гидрогеологические условия сохранности залежей углеводородов.

Материалы и методы

Систематизация гидрогеологических данных по скважинам, статистические и графические методы анализа гидрогеохимических и термодинамических данных.

Ключевые слова

авлакоген, кристаллический фундамент, гидрогеологическая серия, геофильтрационные среды, градиент давления, геотермический градиент, состав пластовых вод, водорастворенный газ

Интерес к изучению додевонских отложений обоснован многочисленными нефтегазопрооявлениями, а также промышленными притоками углеводородов. Результаты изучения строения и нефтегазоносности рифейско-вендских отложений Волго-Уральской нефтегазоносной провинции (далее — НГП), представленные большим количеством статей и монографий, как правило, не содержат анализа гидрогеологических условий. Из опубликованных работ следует отметить монографию В.А. Кротовой, а также статьи И.Н. Шестова и А.В. Шурубора [1, 2, 3].

Изучаемая территория относится к северо-восточным районам Восточно-Русского сложного бассейна пластовых вод. Ограниченная информация имеется по Большеуральскому сложному бассейну пластово-блоковых и пластовых вод. Гидрогеологические условия архейских, рифейских и вендских отложений на данной территории изучены по площади и разрезу весьма неравномерно (рис. 1). Водопритоки различной интенсивности получены на северо-востоке бассейна более чем в 30 скважинах в рифейских, вендских отложениях и единично в породах фундамента. В рифейских отложениях основные водопроявления связаны с нижнерифейскими отложениями Камской впадины (северная часть Камско-Бельского авлакогена). В вендских отложениях притоки воды получены преимущественно из нижней части верхнего венда в Верхнекамской впадине и Сарапульско-Яныбаевской седловине.

Гидрогеологическая стратификация додевонских отложений проводится по литолого-стратиграфическому принципу с выделением в платформенной части территории двух гидрогеологических серий: архейско-нижнепротерозойских отложений фундамента и рифейско-вендской терригенно-карбонатной серии. Указанные гидрогеологические серии относятся к третьему (нижнему) гидрогеологическому этажу бассейнов платформенного типа, относительно изолированного от современной поверхности и характеризующимся отсутствием гидродинамической связи с периферией структуры. В Большеуральском бассейне выделяют протерозойско-нижнепалеозойский терригенно-карбонатный водоносный комплекс.

Верхняя граница архейско-нижнепротерозойской гидрогеологической серии отождествляется с кровлей фундамента, залегающего на абсолютных отметках минус 1600 — минус 10000–11000 м. Данная серия вскрыта десятью скважинами на глубинах от 1997 м (скв. 18 Усть-Черная) до 3215 м (скв. 1 Осинцево), мощностью в среднем

50–60 м. Исключение составляют скв. Осинцево-1 (285 м) и скв. Сивинская-3 (216 м). Фундамент имеет гетерогенную блоковую структуру и представлен метаморфическими и магматическими породами, среди которых преобладают различные парагнейсы [4]. Водоносность блоков кристаллического фундамента обусловлена наличием в них зон трещиноватости, а в верхней части — коры выветривания.

Кровля рифейско-вендской гидрогеологической серии залегает на абсолютных отметках от минус 1500–2000 м (центральные, северо-западные, северо-восточные районы Пермского края) до минус 3000 м и более (восточные и юго-восточные районы Пермского края). Мощность комплекса в основном превышает 1000 м, достигая во впадинных зонах Камско-Бельского авлакогена 5–7 км. Рифейская часть серии на северо-востоке Волго-Уральской НГП представлена неполными разрезами нижнего и среднего рифея, сложена преимущественно последовательно чередующимися красноватокрасными и сероцветными терригенными, терригенно-карбонатными и карбонатными породами прикамской, калтасинской и надеждинской свит нижнего рифея. Область развития среднерифейских отложений в составе тукаевской (гожанской) свиты выделяется локальными зонами на юге и юго-западе исследуемой территории. Имеющийся геолого-геофизический материал указывает на широкое развитие разрывных нарушений в рифейской толще и их роль в формировании различных типов структур (выступов, грабенов и горстов) [4].

Формированию осадочной толщи венда предшествовал длительный перерыв в осадконакоплении. На северо-востоке Волго-Уральской НГП распространены преимущественно верхневендские отложения в пределах развития крупных вендских тектонических элементов: Верхнекамской впадины и Сарапульско-Яныбаевской седловины. Вендские отложения залегают в среднем на глубинах 2–2,5 км, мощностью от нескольких сотен метров до 1,5 км и более, прослеживаются практически в полном объеме и представлены терригенными породами. В Сарапульско-Яныбаевской седловине отсутствуют отложения верхней части венда (кудымкарская серия). Локально наблюдается полное отсутствие венда на юго-западе.

В Большеуральском сложном бассейне пластово-блоковых и пластовых вод выделяют выходящий на поверхность протерозойско-нижнепалеозойский терригенно-карбонатный водоносный комплекс. На больших глубинах

протерозойско-нижнепалеозойский комплекс изучался при бурении Аракаевской параметрической скважины, где он вскрыт в интервале глубин 4930–5207 м и представлен толщей осадочных пород рифейского и вендского возраста, сложенной полимиктовыми песчаниками и алевролитами с прослоями аргиллитов.

Геофильтрационные условия кристаллического фундамента практически не изучались. В скв. Глазовская-1 пористость пород коры выветривания (элювий) оценивается в диапазоне 12,9–22,1 %.

С общетеоретических позиций геофильтрационная модель отложений фундамента в рифейско-вендской гидрогеологической серии может быть представлена в виде слоисто-блоковой макроструктуры разреза как комбинации латеральных и субвертикальных геофильтрационных элементов. Первые из них являются проницаемыми (проводящими) пластами регионального и зонального распространения, а также разделяющими их флюидоупорами. Субвертикальные проницаемые зоны формируются в пределах неотектонических активных трещинно-разрывных линейных структур кристаллического фундамента и осадочного чехла. Сочетание относительно небольших по мощности латеральных и узких (протяженных или прерывистых) субвертикальных проводящих зон образует своеобразную «слоисто-блоковую» макроструктуру геофильтрационного массива комплекса с доминантой вертикальной проницаемости ($K_{вер} > K_{лат}$). Такую структуру следует рассматривать как

переходную от слоистой (пластовой) в верхней части осадочного чехла к существенно блоковой (фундамент).

Латеральные проницаемые элементы ниже- и среднерифейских отложений приурочены к терригенным породам прикамской, надеждинской, тукаевской свит, представленные песчаниками и алевролитами с прослоями аргиллитов. Песчаные пласты толщиной 30–80 м разделяются плотными аргилито-алевролитовыми породами. Пористость песчаников составляет 15–20 %, проницаемость 78–100 мД, реже достигает 585 мД. Карбонатные коллекторы рифея (калтасинская свита) обладают пониженными емкостными (открытая пористость < 4%), но достаточно высокими фильтрационными свойствами (газопроницаемость — 0,215–175 мД) (Бедряжская, Ножовская и др. площади).

В вендских отложениях выделяются до шести региональных проницаемых пластов ($V_{VI}, V_{V}, V_{IV}, V_{III}, V_{II}, V_I$), с повышенными фильтрационно-емкостными свойствами, приуроченные к основаниям кыквинской, верещагинской, кочевской свит. Пласты представлены переслаиванием песчаников и алевролитов с аргиллитами. Открытая пористость в среднем изменяется от 7,5 до 16 %, газопроницаемость в среднем составляет 20 мД (Северокамская, Сивинская, Бородулинская и др. площади).

Латеральные проводящие пластовые системы рифейско-вендских отложений разделены внутрикомплексными флюидоупорами. В рифее покровками являются

низкопористые и низкопроницаемые аргиллиты и практически непроницаемые карбонатные породы в калтасинской свите, которые часто характеризуются большой мощностью и отсутствием эффективной трещиноватости. В венде покровками могут служить только мощные пласты алевро-глинистых пород в связи с их частой сланцеватостью и неуплотненностью [4].

Широкое развитие в рифейско-вендских отложениях субвертикальных геофильтрационных сред, приуроченных к тектоническим нарушениям, подтверждается комплексом геолого-геофизических исследований и в настоящее время не вызывает сомнений. Наличие в геофильтрационной структуре рифейско-вендской серии значительных по мощности слабопроницаемых сред проявляется в виде больших интервалов «сухих» объектов при испытании скважин. Так, например, в скв. Осинцевская-1 «сухой» интервал составил 262 м, в скв. Сивинская-3 — 207 м, в скв. Бедряжская-204 — 142 м и др. В рифейских отложениях интервалы слабопроницаемых сред встречаются чаще.

Гидродинамические условия кристаллического фундамента северо-востока Волго-Уральской НГП практически не изучались. Водообильность отложений оценивалась только в скв. Глазовская-1, где при испытании отложений элювия фундамента в интервале 2220–2254 м при незначительном понижении уровня был получен приток дебитом 3,68 м³/сут, при статическом уровне 125 м (абс. отм. +26,57 м). Необходимо обратить внимание на результаты исследований пород фундамента в соседних регионах. Так, например, в Республике Татарстане в скв. Миннибаевская-20000 приведенное пластовое давление в скважине приблизительно на 4 МПа ниже, чем в базальных отложениях палеозоя. Тенденция уменьшения гидродинамического потенциала в направлении от палеозойских к протерозойским отложениям отмечается на ряде площадей Волго-Уральской НГП [5]. Аналогичные факты имеются и по другим регионам [6, 7].

В связи с вышесказанным можно предположить, что формирование глубинного водообмена в рифейско-вендских отложениях предопределено как слоисто-блоковой геофильтрационной структурой разреза, так и нестационарными граничными условиями в разрезе фундамента. С точки зрения классических представлений эти отложения находятся в зоне весьма затрудненного водообмена и третьего гидрогеологического этажа. Выполнить количественные оценки стока в этих отложениях в настоящее время не представляется возможным.

Для рифейско-вендской гидрогеологической серии пластовые давления изменяются от 23,77 МПа до 25,93 МПа, а градиенты давлений составляют от 0,099 МПа/м до 0,111 МПа/м. В изученной части разреза отмечается отчетливый «гидростатический» тренд изменения давлений с глубиной (рис. 2), что может оцениваться как возможность гидродинамической связи с вышележащим палеозойским комплексом пород.

Интенсивность водопритоков при испытании скважин рифейско-вендской гидрогеологической серии, как правило, невелика, в среднем 0,1–21,5 м³/сут. Такой диапазон, скорее всего, отражает возможности

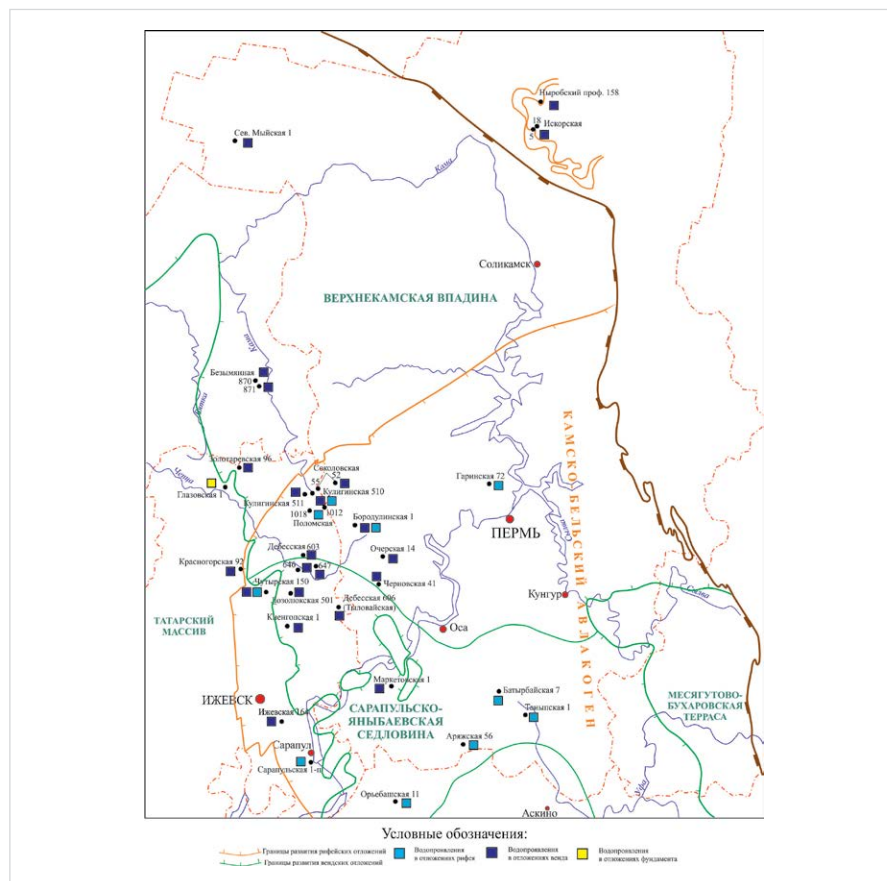


Рис. 1 — Тектоническая схема рифейско-вендских отложений северо-восточной части Волго-Уральской НГП с основными водопроявлениями
Fig. 1 — Tectonic map of the Riphean-Vendian sediments of the northeastern part of the Volga-Urals petroleum province with basic water entry

латеральных проводящих сред или зон незначительной трещиноватости. В тоже время зафиксированы водопритoki на 1–2 порядка больше указанных. Так, в рифейских отложениях в скв. Глазовская-1 получен водоприток 50,7 м³/сут. В вендских отложениях водоприток значительно больше: скв. Киенгопская-1 — 156,8 м³/сут, скв. Бородулинская-1 — 222 м³/сут, скв. Ижевская-164 — 252 м³/сут, скв. Золотаревская-98 — 443 м³/сут, скв. Дебесская-606 — 609,1 м³/сут. Вполне вероятно, что в этих скважинах вскрыты высокопроницаемые трещинные зоны разреза, обеспечивающие вертикальный водообмен (массоперенос).

Геологическая структура рифейско-вендских отложений обеспечивает стационарность верхней гидродинамической границы гидрогеологической серии. В связи с этим для данной части разреза можно предполагать только одну нестационарную в геологическом времени гидродинамическую границу — поверхность кристаллического фундамента с условиями локального сжатия или растяжения (формирования разуплотненных зон). В настоящее время многими авторами предлагаются и обсуждаются принципиальные модели, учитывающие пульсационный напряженно-деформированный режим глубоких недр [8, 9].

Ожидаемая структура глубинного подземного стока (либо только перераспределение давлений при таких граничных условиях и слоисто-блоковой геофильтрационной макроструктуре) может проявляться в виде локальных потоков с вертикальной доминантой или локальных пьезоаномалий разного знака. Для слабопроницаемых блоков вполне вероятно относительное запаздывание фильтрационных и конвекционно-диффузионных процессов, что может объяснять сохранение реликтовых («бескорневых») гидрогеохимических аномалий во внутренних частях слабопроницаемых блоков. Выполненные в верхней части разреза вендских отложений измерения пластовых давлений указывают на «гидростатический» режим.

Геотермические условия гидрогеологической серии на глубинах до 2600 м находятся в пределах до 56°C (рис. 2). Температура возрастает с глубиной с геотермическим градиентом от 1,44°C/100 м до 2,05°C/100 м, что соответствует условиям в вышележащем палеозойском разрезе [10]. Таким образом, в верхней изученной части разреза вендских отложений повышенная термодинамическая активность недр не установлена.

В Большеуральском сложном бассейне пластово-блоковых и пластовых вод на высоких гипсометрических отметках обеспечивается инфильтрационное питание и напорность вод протерозойско-нижнепалеозойского комплекса на прилегающих территориях. Напорные трещинно-пластовые воды в северных районах Кизеловского угольного бассейна имеют выходы источников с дебитом 8–16 л/сек, а в южных их дебит несколько ниже — 0,75–1,5 л/сек. В соответствии с современными представлениями о структуре артезианских бассейнов выходы додевонских отложений в складчатом Урале не являются областью питания рифейско-вендского комплекса в пределах платформы.

Гидрогеохимические условия додевонских отложений являются типичными для зоны весьма затрудненного водообмена Восточно-Русского бассейна. Сведения о химическом составе рассолов додевонских отложений представлены в таблице.

В платформенной части изучаемой территории состав рассолов фундамента (коры выветривания) представлен результатами опробования скв. Глазовская-1. Рассол имеет признаки незначительного разбавления, но по общим характеристикам соответствует водам вышележащих интервалов рифея (см. ниже) поскольку при отсутствии флюидоупора, по-видимому, существует единая гидрогеологическая зона разреза.

Более интересная информация по составу вод кристаллических пород получена за пределами изучаемого района в скв. Азнакаевская-22, а также в скв. Миннибаевская-20000 в Татарстане. В первой из них

по данным В.А. Кротовой в интервале 1697–1700 м (кора выветривания) получены рассолы с минерализацией 275 мг/дм³ с высокой метаморфизацией (rNa/rCl=0,66) и практически бессульфатные (rSO₄×100/rCl=0,06). Состав вод представлен стандартной формулой Курлова (1):

$$M_{275} \frac{Cl 49.98 SO_4^{0.03} HCO_3^{0.01}}{(Na+K) 33.06 Ca 12.92 Mg 4.02} \quad (1)$$

По данным ряда исследователей подземные воды архейско-протерозойского комплекса близки к водам рифейско-вендских отложений [11, 12]. Они относятся к хлоркальциевому типу, имеют минерализацию 234–272 г/дм³ и плотность 1,18–1,19 г/см³. Содержание кальция достигает 22–42 г/дм³, а коэффициент метаморфизации составляет 0,4–0,6. В водах содержатся микрокомпоненты йод, бром и аммоний.

Минеральные рассолы трещиноватой зоны кристаллического фундамента, вскрытые скважиной Миннибаевская-20000 (4700–5099 м) имеют несколько иной состав: это хлоркальциевые рассолы с минерализацией 287–322 г/дм³, содержание кальция достигает 94 г/дм³, на фоне уменьшения содержания натрия до 11,5 г/дм³ по сравнению с фоновыми значениями (54–74 г/дм³). Из микрокомпонентов в водах содержатся (мг/дм³) йода — от 6,3 до 9,0; бром — от 1606,0 до 1932,7; аммоний — 3,6. Воды содержат почти в 3 раза больше кальция, чем натрия, и почти не содержат магния. В составе водорастворенных органических веществ присутствуют (мг/дм³): органический углерод — от 97,6 до 137,8; углерод битумной фракции — от 0,3 до 0,5 и более; органический азот — от 0,02 до 0,2; фенол летучий — от 0,1 до 3,9. Кроме того, обнаружен бензол. Воды обогащены азотом (до 60–83 %), при газонасыщенности в 390–450 см³/л. Таким образом, исследованные воды из скв. Миннибаевская-20000 фактически являются уникальными рассолами кристаллических пород.

В Большеуральском бассейне пластово-блоковых вод в скв. 8215 на Естюнинском железорудном месторождении под Нижним Тагилом получены воды с минерализацией 10 г/л, относящиеся к хлоркальциевому типу и содержащие йод, бром и аммоний (таб. 1):

$$M_{10.2} \frac{Cl 95 SO_4 3}{Ca 84 (Na+K) 14} J - 1.7, Br - 23 \text{ мг/дм}^3 \quad (2)$$

Рифейские и вендские отложения насыщены рассолами хлоридно-натриево-кальциевого состава с содержанием кальция более 20–25 г/кг. Воды, как правило, кислые (pH<5), значительно обогащены бромом (> 700–1000 мг/кг), причем наблюдается тенденция более высоких концентраций брома в водах вендских отложений на границе выклинивания рифейских толщ, то есть в полосе отложений протягивающейся с севера на юг от Соколовской площади на с. Сиву, г. Верещагино, Киенгоп, Батырбай в основном к границам Камско-Бельского авлакогена. Необходимо отметить, что нефтеносность вендских отложений в этих зонах также более высокая. Характерным для вод являются очень низкие содержания NH₄ — 0,02–0,10 г/л и HBO₂, а

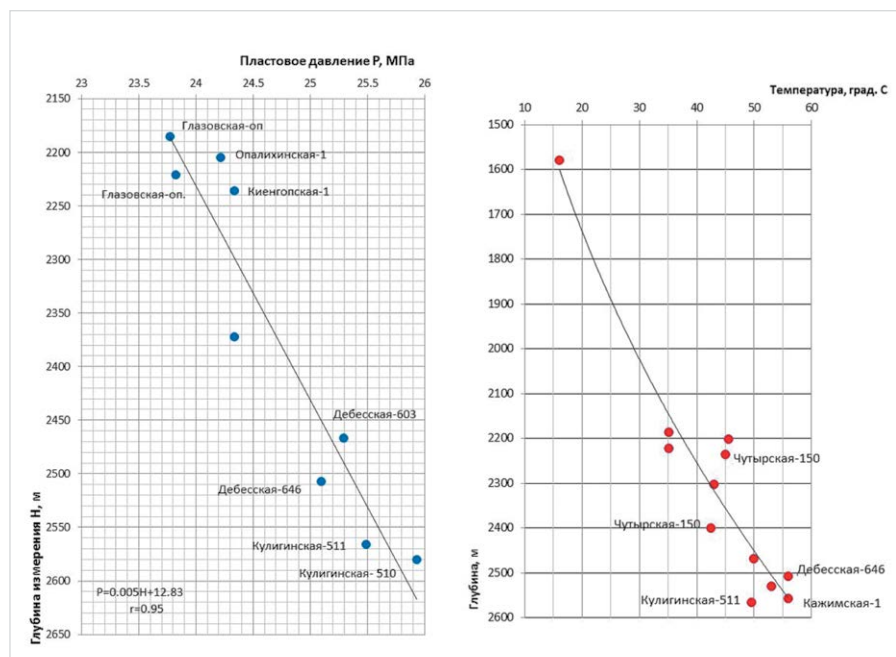


Рис. 2 — Термодинамические условия рифейских и вендских отложений
Fig. 2 — Thermodynamic condition of the Riphean-Vendian sediments

также пониженная сульфатность. Содержание брома в пластовых водах комплекса увеличивается пропорционально содержанию кальция (рис. 3).

Рассолы додевонских отложений в контуре Камско-Бельского авлакогена почти не отличаются по химическому составу и содержанию микрокомпонентов от вод терригенного девона и могут быть отнесены к единой гидрогеохимической группе (кластеру) [13]. При доминирующей тенденции к вертикальному водообмену (массопереносу) в условиях слоисто-блоковой геофильтрационной макроструктуры не исключается миграция углеводородов из рифейско-вендской серии в девонские терригенные коллекторы.

Вблизи периферии бассейна (Искорская площадь, Ныробский профиль) состав рассолов вендских и палеозойских практически одинаковый (таб. 1). Они имеют более низкие содержания кальция и брома, меньшую метаморфизацию ($r_{Na/Cl} = 0,76-0,9$) и более высокие содержания сульфат-иона и йода.

Водорастворенный газ (далее — ВРГ), полученный из рассолов скв. Ижевская-164 и скв. Бородулинская-1 относится к азотному типу. Содержание азота составляет до 90 об.%, метана — 10–26 об.%, тяжелых углеводородов — до 0,15 об.%. Общая газонасыщенность вод составляет 260–268 $см^3/дм^3$, а давление насыщения в пределах 5,3–7,8 МПа.

В восточном направлении газовый состав пластовых вод соответствует метано-азотному типу. В рифейских отложениях на Батырбайской площади по данным опробования скважины 7 содержание азота 47,5%, метана — 49%, концентрация тяжелых углеводородов увеличивается до 3%. Газонасыщенность вод составляет 231 $см^3/дм^3$, давление насыщения — 6,3 МПа.

Содержание редких газов в составе ВРГ несущественно. Вместе с тем весьма характерным для додевонских отложений является повышенное содержание гелия — его

концентрация составляет 0,02–2,5%, при содержании 0,15–7,8 $см^3/дм^3$. Поскольку гелий образуется, в основном, при радиоактивном распаде элементов уранового и ториевого рядов его максимальные концентрации зафиксированы в относительно застойных водах более древних — додевонских и среднедевонских отложений, где его содержание, как правило, превышает 3 $см^3/дм^3$ (1%). Фоновая насыщенность вод гелием уменьшается вверх по разрезу. Так, по данным исследований Б.А. Бачурина (1984), наиболее характерные содержания гелия в водах позднедевонских терригенных уменьшаются до 1,8–2,2 $см^3/дм^3$, в среднекаменноугольных до 0,6–1 $см^3/дм^3$, а наименьшие содержания гелия в составе водорастворенного газа (0,14–0,2 $см^3/дм^3$) установлены в водах раннепермских отложений.

В Большеуральском сложном бассейне пластово-блоковых и пластовых вод трещинные, трещинно-жильные и трещинно-поровые воды имеют гидрокарбонатно-кальциевый, гидрокарбонатно-натриевый и сульфатно-натриевый состав с 26–511 $мг/дм^3$. В ряде случаев воды могут быть обогащены радоном. Интерпретация результатов анализа фильтрата, полученного с глубины 5145 м в Аракаевской параметрической скважине, позволяет сделать предположение о хлоридно-натриевом составе пластовых вод рифейско-вендских отложений. В водном экстракте порового раствора, извлеченного из образца алевролита 5176п, (открытая пористость 0,68%) с глубины 5023,3 м, среди анионов высокая доля Cl (142 $мг/дм^3$ или 53%), карбонат-иона (81 $г/дм^3$ или 37%), в незначительных концентрациях обнаружены фтор и бром (соответственно 0,07 и 0,04 $мг/дм^3$), катионы представлены только натрием.

Итоги

Установлено, что в контуре Камско-Бельского авлакогена рифейско-вендская гидрогеологическая серия и девонские терригенные отложения образуют единую гидрогеохимическую систему. Современные термодинамические условия рифейско-вендских отложений соответствуют гидростатическому режиму с вероятным преобладанием вертикального характера глубинного массопереноса по локальным трещинным зонам. Пластовые рассолы додевонских отложений могут быть отнесены к бромным и иодо-бромным промышленным водам.

Выводы

Формирование единой гидрогеохимической системы в рифейско-вендских и девонских отложениях является важным показателем нефтегазоносности разреза и должно быть учтено при построении принципиальных геомиграционных моделей.

Наиболее проницаемые пласты и зоны высокопроницаемых нарушений в вендских отложениях могут служить эксплуатационными объектами по добыче рассолов с целью извлечения промышленно ценных компонентов.

Систематизированная гидрогеологическая информация может быть использована при проектировании новых глубоких параметрических скважин на рифейско-вендские отложения.

Литература

1. Кротова В.А. Гидрогеологические факторы формирования нефтяных месторождений (на примере Предуралья). Л: Гостоптехиздат, 1962. 330 с.
2. Шестов И.Н., Бачурин Б.А. Закономерности насыщения пластовых вод газами и их роль при оценке перспектив нефтегазоносности в условиях Прикамья. Водорастворенные газы нефтегазоносных бассейнов. М.: Наука, 1981. С. 61-64.
3. Шурубор А.В., Шестов И.Н. Гидрогеологические особенности подземных вод рифейских и вендских отложений Предуралья. Проблемы геологии Пермского Урала и Предуралья. Пермь, 1998. С. 122–124.
4. Белоконов Т.В., Горбачев В.И., Балашова М.М. Строение и нефтегазоносность рифейско-вендских отложений востока Русской платформы. Пермь: Звезда, 2001. 108 с.
5. Зайдельсон М.И. Гидрогеологические условия формирования и размещения нефтяных и газовых месторождений Волго-Уральской области. М.: Недра, 1973. 280 с.
6. Бакин В.Е., Карцев А.А., Семашев Р.Г., Яковлев Ю.И. Один из механизмов сохранения залежей углеводородов в древнейших осадочных отложениях // Геология и геофизика. 1987. №4. С. 124–128.
7. Ибрагимов Р.Л., Плотникова И.Н. Результаты режимных наблюдений состава подземных вод кристаллического фундамента Южно-Татарского свода // Георесурсы. 2009. №3. С. 9-13.
8. Вартамян Г.С., Куликов Г.В. Гидрогеодеформационное поле Земли. 1982. №2. С. 310–314.
9. Дюнин В.И., Корзун В.И. Гидрогеодинамика нефтегазовых бассейнов. М.: Научный мир, 2005. 524 с.
10. Михайлов Г.К., Ваганов А.А. Геотермические условия палеозойских отложений нефтегазоносных районов Пермского Прикамья. Пермь, 1981. С. 76–81.
11. Анисимов Б.В., Доронкин К.Н., Кавеев И.Х. и др. Подземные воды кристаллического фундамента Татарского свода // Геология нефти и газа. 1979. №11. С. 29–36.
12. Ибрагимов Р.Л. Вопросы гидрогеологии и использования подземных вод при разведке и разработке нефтяных месторождений. М.: ВНИИОЭНГ, 2004. 140 с.
13. Яковлев Ю.А. Гидрогеохимические кластеры продуктивных комплексов северо-восточной части Волго-Уральской нефтегазоносной провинции // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2014. №7. С. 60-64.

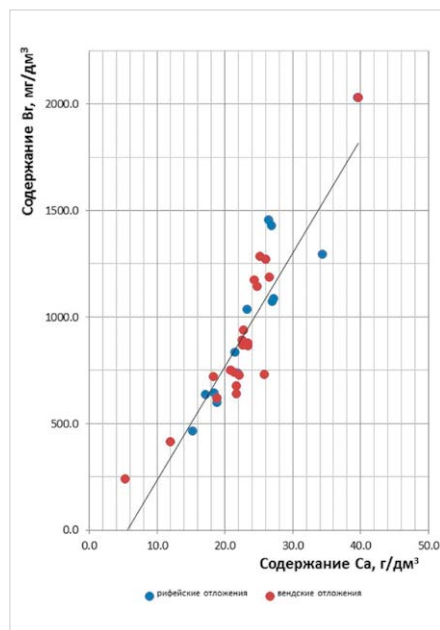


Рис. 3 — Зависимость содержаний брома и кальция в пластовых водах рифейских и вендских отложений

Fig. 3 — Relationship between bromine and calcium in the reservoir water of the Riphean-Vendian sediments

Скважина, регион *)	Возраст	Интервал опробования, м.	pH	Минерализация, г/л	Содержание ионов, г/дм ³						Содержание микрокомпонентов, г/дм ³						Коэффициенты		
					Cl	SO ₄	HCO ₃	Ca	Mg	Na+K	NH ₄	I	Br	HBO ₂	г Na/г Cl	Cl/Br	г SO ₄ -100/г Cl		
Глазовская-1, ВКВ	Ar	2221-2254	6.7	222	137	0.52	0.04	18.8	2.7	62.9	н.с.	8	601	35	0.7	228	0.2		
Чугуйская-150, КБА	R	2236-2240	5.9	239	148.4	0.33	0.04	17.1	3.6	63.8	81	9.9	638	н.с.	0.73	232	0.16		
Бородулинская-1, КБА	R	2965-2995	4.0	247	155	0.04	0.04	34.4	4.4	52.6	18	4	1295	128	0.52	120	0.02		
Поломская-1018, КБА	R	2668-2678	3.7	245	152.7	0.10	н.с.	21.5	4.6	65.7	н.с.	6.3	834.6	н.с.	0.66	183	0.04		
Решетниковская-150, КБА	R	2236-2240	6.1	255	157.9	0.43	0.04	18.4	3.9	74	45	10	645	78	0.7	245	0.2		
Кулигинская-510, КБА	R+V	2328-2656	6.2	230	143.2	0.11	0.02	23.3	3.6	59.4	72	7.6	1038	40.3	0.64	138	0.06		
Чугуйская-150, КБА	V	2202-2206	6.4	258	159.9	0.44	0.05	18.3	3.9	75.4	50	10.7	722	65.7	0.75	221	0.22		
Бородулинская-1, КБА	V	2892-2906	4.7	260	151	0.06	0.04	26.0	3.7	88.9	25	7	1272	107	0.62	119	0.02		
Кулигинская-511, КБА	V	2566-2571	4.0	242	150.0	0.11	н.с.	24.7	3.4	62.5	28	6.4	1145	105	0.64	131	0.06		
Сооловская-55, КБА	V	2651-2674	5.8	235	146	0.11	0.03	24.3	2.8	61.8	50	9	1173	68	0.65	125	0.05		
Дебесская-603, КБА	V	2438-2475	3.2	263	163.1	0.39	н.с.	23.4	3.9	71.6	56	10	864	н.с.	0.68	189	0.18		
Дебесская-646, КБА	V	2507-2576	4.8	244	151.9	0.15	0.01	25.2	3.5	63.0	89.5	9.9	1286	45.3	0.64	118	0.07		
Дебесская-647, КБА	V	2465-2444	5.0	260	162.2	0.19	0.02	26.5	4.2	66.9	68	10.3	1188	н.с.	0.64	137	0.09		
Алтыновская-205, КБА	V	2500-2600	н.с.	241	142	0.94	н.с.	19.0	3.9	75.2	н.с.	н.с.	н.с.	н.с.	0.7	н.с.	0.43		
Киенгопская-1, КБА	V	2399-2405	4.0	263	163.4	0.19	0.02	27.0	3.2	68.9	н.с.	н.с.	1072	38	0.65	152	0.01		
Лозолокская-501, КБА	V	2293-2322	6.8	234	145.9	0.32	н.с.	22.5	4.1	61.2	52	8.5	892	26.3	0.65	163	0.16		
Батырбайская-7, КБА	R	2302-2309	5.2	286	179.8	0.11	0.02	41.1	5.5	59.6	107	9	1520	38	0.51	118	0.04		
Таныпская-1, КБА	R	2218-2223	5.0	285	179.2	0.46	0.01	39.5	5.7	60.1	н.с.	4	2030	н.с.	0.51	88	0.2		
Голышурминская-4, КБА	V	1616-1622	н.с.	278	172.5	0.04	н.с.	21.7	4.0	79.3	н.с.	10.1	639	н.с.	0.71	270	0.16		
Сырьянская-18, ККА	V	2316-2728	6.0	270	167.4	0.27	0.01	21.9	4.1	76.5	65	10	739	37	0.7	226	0.11		
Маркетовская-1, СЯС	R	2175-2170	4.4	216	134.6	0.58	н.с.	27.2	3.2	50.3	н.с.	9	1088	43	0.6	124	0.32		
Ижевская-164, СЯС	V	2002-2006	5.3	253	157.1	0.31	н.с.	20.8	3.5	71.5	н.с.	9	751	44	0.7	206	0.15		
Безымянная-871, ВКВ	V	2453-2461	4.2	248	154	0.06	н.с.	21.7	3.0	69.2	58	10	677	26	0.69	227	0.03		
Безымянная-870, ВКВ	V	2414-2420	4.8	262	161.7	0.08	н.с.	21.4	1.4	77.6	50	11	742	32	0.74	218	0.04		
Глазовская-1, ВКВ	V+D ₃	2185-2200	6.1	274	168.1	0.44	0.05	22.1	3.12	79.9	42	8	727	н.с.	0.72	236	0.19		
Искорская-18, Т	V	1840-1879	6.4	226	136.9	0.81	0.12	15.2	2.4	70.1	65	9.3	467	16.8	0.76	293	0.44		
Искорская-5, Т	V	1759-1822	6.3	205	123.9	0.87	0.12	12.0	2.3	65.4	25	8.5	414	29	0.78	299	0.52		
Ныробский проф.-158, Т	V	1544-1456	6.2	215	128	1.9	0.04	5.3	1.9	77.6	39	3.8	241	21	0.90	530	1.11		
Сев.Мыйская-1, КПС	V	2218-2223	6.7	234	145	0.16	0.04	25.8	1.4	61.8	н.с.	9	730	н.с.	0.66	199	0.08		

КБА – Камско-Бельский авлакоген; ККА – Казанско-Кажимский авлакоген; ВКВ – Верхнекамская впадина; СЯС – Сарapulьско-Яныбаевская седловина;

Т – Тиман; КПС – Коми-Пермяцкий свод; КПВ – Коми-Пермяцкий выступ; н.с. – нет сведений

Tab. 1 – Химический состав подземных вод додевонских отложений северо-восточных районов Волго-Уральской НПП
 Tab. 1 – Composition of the underground water of the Pre-Devonian sediments of the northeastern areas of the Volga-Urals petroleum province

Hydrogeology of the Pre-Devonian deposits in the north-eastern parts of the Volga-Ural Oil and Gas Province and the adjacent areas

Authors:

Yuriy A. Yakovlev — Ph.D., director of studies; yyakovlev@niikigs.ru

Svetlana E. Bashkova — Ph.D., head of section for scientific support of parametric and super-deep drilling, academic secretary; sbashkova@niikigs.ru

JSC KamNIIKIGS, Perm, Russian Federation

Abstract

The article reviews hydrogeology of the Pre-Devonian deposits in the north-eastern parts of the Volga-Ural Oil and Gas. The integrated analysis of the unique data on the thermal properties of the section, fluid composition and properties were the estimation basis for the most basic hydrogeological regularities of the Pre-Devonian sequence. Certain community of the hydrogeochemical features of the Riphean-Vendian hydrogeological sequence with the Devonian terrigenous deposits within the Kama-Belsk aulacogen was established along with favorable hydrogeological conditions of the hydrocarbon deposits preservation.

Materials and methods

Systematization of the hydrogeological data related to the wells, statistical and graphical

methods of the hydrogeochemical and thermal data analysis.

Results

It has been established that the Riphean-Vendian hydrogeological sequence and the Devonian terrigenous deposits form a single hydrochemical system. A modern thermodynamic mode of the Riphean-Vendian deposits corresponds with the hydrostatic indicators. It is anticipated that the deep vertical mass transport along the local fissure zone plays a significant role. Formation brines of the Pre-Devonian deposits can be assigned to the bromine and iodine-bromine industrial waters.

Conclusions

Forming a single hydrogeochemical system in the Riphean-Vendian and Devonian deposits is

an important sign of the hydrocarbon saturation in the section, and it shall be considered when building conceptual geomigration models.

The most permeable beds and zones of highly permeable faults in the Vendian deposits can serve as production zones of brine extraction in order to extract industrially valuable components. Organized hydrogeological information can be used to design new deep parametric wells within the Riphean-Vendian deposits.

Keywords

aulacogen, crystalline basement, hydrogeological sequence, geofiltering environment, pressure gradient, geothermal gradient, formation water composition, water-dissolved gas

References

- Krotova V.A. *Gidrogeologicheskie faktory formirovaniya neftyanykh mestorozhdeniy (na primere Predural'ya)* [Hydrogeological factors for forming of oil fields (as exemplified by the western piedmont of the Ural Mountains)]. Leningrad: *Gostoptekhizdat*, 1962, 330 p.
- Shestov I.N., Bachurin B.A. *Zakonomernosti nasyshcheniya plastovykh vod gazami i ikh rol' pri otsenke perspektiv neftegazonosnosti v usloviyakh Prikam'ya. Vodorastvorennye gazy neftegazonosnykh basseynov* [Regularities of the formation water aeration, and their role in the evaluation of the petroleum potential within the Kama region. Water-dissolved gases of the petroleum bearing basins]. Moscow: *Nauka*, 1981, pp. 61–64.
- Shurubor A.V., Shestov I.N. *Gidrogeologicheskie osobennosti podzemnykh vod rifeyskikh i vendskikh otlozheniy Predural'ya. Problemy geologii Permskogo Urala i Predural'ya* [Hydrogeological peculiarities of the groundwaters of the Riphean and Vendian deposits. Geology issues of the Permian Urals and the western piedmont of the Ural Mountains]. Perm: 1998, pp. 122–124.
- Belokon' T.V., Gorbachev V.I., Balashova M.M. *Stroenie i neftegazonosnost' rifeysko-vendskikh otlozheniy vostoka Russkoy platformy* [Geology aspects and oil and gas bearing capacity of the Riphean-Vendian deposits of the eastern part of the Russian Platform]. Perm: *Zvezda*, 2001, 108 p.
- Zaydel'son M.I. *Gidrogeologicheskie usloviya formirovaniya i razmeshcheniya neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy Volgo-Ural'skoy oblasti* [Hydrogeological conditions for forming and distributing oil and gas fields of the Volga ad the Urals region]. M.: *Nedra*, 1973, 280 p.
- Bakin E.V., Kartsev A.A., Semashev R.G., Yakovlev Y.I. *Odin iz mekhanizmov sokhraneniya zalezhey uglevodorodov v drevneyshikh osadochnykh otlozheniyakh* [One of the mechanisms of the preservation of the hydrocarbon deposits in the most ancient sedimentary deposits]. *Geologiya i geofizika*. 1987, issue 4, pp. 124–128.
- Ibragimov, R.L., Plotnikova I.N. *Rezultaty rezhimnykh nablyudeniye sostava podzemnykh vod kristallicheskogo fundamenta Yuzhno-Tatarskogo svoda* [Results of the monitoring observations of the groundwater composition of the crystalline basement of the Southern Tartar crest]. *Georesursy*, 2009, issue 3, pp. 9–13.
- Vartanyan G.S., Kulikov G.V. *Gidrodeformatsionnoe pole Zemli* [Field of hydrodeformation of the Earth]. 1982, issue 2, pp. 310–314.
- Dyunin V.I., Korzun V.I. *Gidrogeodinamika neftegazovykh basseynov* [Hydrogeodynamics of the oil and gas bearing basins]. Moscow: *Nauchnyy mir*, 2005, 524 p.
- Mikhaylov G.K., Vaganov A.A. *Geotermicheskie usloviya paleozoyskikh otlozheniy neftenosnykh rayonov Permskogo Prikam'ya* [Geothermal conditions of the Paleozoic sediments of the oil bearing areas of the Permian Kama region]. Perm: 1981, pp. 76–81.
- Anisimov B.V., Doronkin, K.N., Kaveev I.Kh. and oth. *Podzemnye vody kristallicheskogo fundamenta Tatarskogo svoda* [Groundwater of the crystalline basement of the Tartar crest]. *Geologiya nefti i gaza*, 1979, issue 11, pp. 29–36.
- Ibragimov, R.L. *Voprosy gidrogeologii i ispol'zovaniya podzemnykh vod pri razvedke i razrabotke neftyanykh mestorozhdeniy* [Issues of the hydrogeology and use of the groundwater during the exploration and production of the oil fields]. Moscow: *VNIIOENG*, 2004, 140 p.
- Yakovlev Y.A. *Gidrogeokhimicheskie klastery produktivnykh kompleksov severo-vostochnoy chasti Volgo-Ural'skoy neftegazonosnoy provintsii* [Hydrogeochemical clusters of productive complexes of a northeast part of the Volga-Ural oil-and-gas province]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy*, 2014, issue 7, pp. 60–64.