

Т.В. Иванова, Е.В. Лозин, Р.Х. Масагутов, О.Б. Дьяконова, Д.И. Иванов
 ООО «Геопроект», Уфа

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ И ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ КОЛЛЕКТОРОВ В РИФЕЙСКО-ВЕНДСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ КАМСКО-БЕЛЬСКОЙ ГРАБЕНОВОЙ ВПАДИНЫ

Верхнепротерозойские отложения на территории Камско-Бельской грабеновой впадины представлены двумя комплексами: рифейским и вендским. Отложения рифея, являясь производными многостадийных процессов рифтогенеза, образуют в осадочном чехле крупную структурную форму авлакогенного типа, залегающую непосредственно на архей-протерозойском фундаменте. Они имеют терригенно-карбонатный состав, большие мощности (до 12000 м и более), осложнены дизъюнктивными нарушениями и внедрением небольших по размеру интрузивных тел габброидов, залегают на глубинах от 2000 до 4000 м, изучены до глубины 5500 м.

Осадочные образования венда выполняют синеклизы в рельефе рифейских отложений и частично фундамента (на западе), имеют терригенный состав пород, максимальные мощности их не превышают 1600 м, залегают на глубинах от 1600 м до 2600 м; по характеру залегания тяготеют к платформенному типу.

Нефте- и газопроявления, а также залежи нефти в отложениях венда и рифея в пределах Волго-Уральской области приурочены, в основном, к песчаным пластам. Направляется вывод о преимущественном развитии до изученной глубины пород коллекторов среди песчаников.

Изучение емкостно-фильтрационных свойств песчаных пород рифея и венда выявило наличие коллекторов двух генетических видов: первого (остаточного, первичного), свойства которого сформировались на стадии диагенеза, и второго (эпигенетического, вторичного), возникшего под влиянием регрессивных процессов разуплотнения.

Коллекторы первого генетического вида имеют ограниченное развитие, частично сохранились в породах, не погружавшихся на глубину более 3000 м. Ниже этой глубины статическое давление вышележащих толщ привело к уплотнению пород и разобщению, а нередко и к полному уничтожению порового пространства, вследствие чего резко снизилась проницаемость. Проницаемость алевро-песчаных пород, залегающих ниже 3000 м, резко отстает от значений общей пористости. Песчаники практически в большинстве случаев становятся непроницаемыми и выпадают из числа коллекторов, несмотря на удовлетворительные, в ряде случаев, значения пористости (Морозов и др., 1978).

Коллекторы второго генетического вида имеют локальный характер развития, установлены на всех (до 5,5 км) глубинах и всех стратиграфических уровнях. Сформировались они под влиянием геохимических и геодинамических факторов. К числу первых следует отнести воздействие на породы реакционных гидротермальных растворов. Геодинамические факторы обеспечили формирование трещиноватости пород. Природа их различна для вендских и рифейских отложений. В венде - это плитная тектоника, а в рифее

- многостадийный рифтогенез. Однако в позднем палеозое те и другие в примыкающей к Уралу зоне испытали интенсивное геодинамическое напряжение, обусловленное коллизийными процессами. Наиболее благоприятные условия для формирования коллекторов второго вида имели место в приразломных зонах, обеспечивавших наилучшие условия для миграции реакционных растворов и формирования коллекторов каверново-трещинного типа.

Верхний предел проницаемости для остаточного вида песчаных коллекторов в венде составляет 0,02 мкм², а в рифее - 0,01 мкм². Это различие следует объяснять разной степенью эпигенетической региональной метаморфизацией пород. Так, осадочные породы венда по характеру постседиментационной переработки отвечают протокатагенезу с начальными чертами мезокатагенеза, а рифея - мезокатагенезу с начальными чертами апокатагенеза.

Вендские песчаники характеризуются недостаточной зрелостью. В их составе значительное участие принимают неустойчивые компоненты: измененные процессами регрессивного метаморфизма плагиоклазы (еще будучи в составе «материнских» метаморфических пород), биотит, аллотигенный хлорит, обломки метаморфических и эффузивных пород. Полимиктовый состав вендских песчаников был «преградой» для развития регенерационных структур. На стадии протокатагенеза и раннего мезокатагенеза глинизированные плагиоклазы и фемические минералы, обладающие повышенной пластичностью, в той или иной мере закупоривали собой первичные поры, что в итоге ухудшало коллекторские свойства.

Микроскопическое изучение песчаников венда свидетельствует о том, что они на локальных участках претерпели влияние регрессивных эпигенетических процессов, ведущих к разуплотнению катагенетических структур. В первую очередь - это процессы, протекавшие под влиянием кислых интерстиционных растворов, способствовавшие растворению карбонатного цемента и перекристаллизации гидрослюдисто-хлоритового цемента в более крупночешуйчатый - каолиновый.

В породах венда наблюдается трещиноватость, возникающая под влиянием процессов сжатия и растяжения на различных этапах их тектонического развития. Длина трещин по керну изменяется от 1-2 до 20 см, а ширина - от долей мм до 1-5 мм. В плоско-параллельных шлифах нередко прослеживаются открытые волосяные трещинки толщиной 1 - 20 мкм. На последних этапах регрессивного эпигенеза часть открытых трещин и межпоровых каналов была «залечена» вторичным кальцитом, что в целом снизило коллекторские свойства песчаников венда.

Емкостно-фильтрационные свойства песчаных коллекторов венда эпигенетического вида укладываются в преде-

лы: общая пористость – 11,1 – 17,5 %, проницаемость – 0,074 – 0,187 мкм². Наилучшими коллекторскими свойствами обладают песчаники базальной, байкибашевской свиты (Стратиграфическая..., 2000). Преобладает поровый, порово-трещинный и трещинный типы коллектора.

В составе рифейского комплекса, кроме песчаников, емкостно-фильтрационные свойства нередко обнаруживают карбонатные породы, аргиллиты и магматические породы диабазовой формации.

Песчаники рифея имеют кварцевый, полевошпато-кварцевый, реже - аркозовый состав, т.е. являются высокозрелыми образованиями. Содержание первичного цементирующего глинистого материала варьирует от 0 до 30 %. На стадии мезокатагенеза и раннего апокатагенеза они становятся монолитными, непроницаемыми породами полусливного, кварцитовидного облика. Этим они обязаны широкому возникновению структур типа вдавливания и растворения с конформными, инкорпорационными и микростилолитовыми сочленениями зерен и развитию регенерационных структур. Процессы регенерации, как правило, ограничиваются присутствием в цементе аллотигенного крипточешуйчатого каолинит-диккита, бурых окислов железа, сульфатов и карбонатов.

В числе наиболее важных геохимических факторов, оказавших дезинтеграционное влияние на плотные песчаники рифея, следует выделить:

1. Растворение и выщелачивание кислыми гидротермальными растворами, поступающими из фундамента, сульфатов и карбонатов цемента песчаников. Наибольшее влияние данный фактор оказал на песчаники наиболее древних рифейских свит: тюрюшевской и ротковской (Стратиграфическая схема..., 2000). Общая пористость их достигает 15 – 22%, а проницаемость 0,220 – 0,615 мкм². Тюрюшевская свита залегает непосредственно на фундаменте (скв. 50 Ново-Урняк и 2 Тюрюшево). Из песчаников свиты получен приток минерализованной пластовой воды активностью 27 – 1200 м³/сут. Ротковская свита в этих скважинах залегает на тюрюшевской, а в скв. 7000 Арлан – в интервале 3780 – 4242 м, и от фундамента ее здесь отделяет, как минимум, 3-х км толща осадков прикамской подсерии. Но и в этой скважине общая пористость отдельных образцов составляет 19 – 22,3%, а проницаемость изменяется от 0,017 до 0,203 мкм². Из ротковских песчаников в скв. 7000 Арлан получен приток минерализованной пластовой воды дебитом 20 м³/сут (инт. 4000 – 4240 м).

2. Щелочной (калиевый) метасоматоз, обусловивший нарушение целостности кварцитовидных песчаников. Этот процесс имел постадийное развитие: от появления пленочного тонкочешуйчатого аутигенного серицитового цемента вокруг обломочных зерен до полного замещения обломочного материала тонкозлюдыстым (серицит, мусковит) агрегатом. Все стадии четко прослеживаются в шлифах. Наиболее проницаемыми являются песчаники, сформировавшиеся на среднем, промежуточном, этапе, с пленочно-поровым и базально-поровым типами цемента. На электрокаротаже они характеризуются максимальными депрессиями ПС. Под влиянием описываемого процесса в целом улучшились их фильтрационные свойства в результате появления микроканалов в межпакетном пространстве тонкозлюдыстого агрегата и мелких открытых пор размером не более 0,01 – 0,02 мм. Лабораторными исследованиями ус-

тановлено, что общая пористость отдельных образцов составляет 11,5 – 13,6%, проницаемость – 0,160 – 0,460 мкм². Наибольшее развитие имеют измененные таким образом песчаники в составе тукаевской свиты среднего рифея и аслыкульской подсвиты надеждынской свиты нижнего рифея (Стратиграфическая схема..., 2000).

По материалам промысловой геофизики в тукаевской свите в скв. 62 Кабаково выделено 30 интервалов, в которых возможно присутствие вышеописанных песчаных коллекторов. Некоторые из них (5324 – 5067,7 м) были исследованы с целью получения притока пластового флюида. Результат оказался отрицательным, но из глинистого раствора выделялся горючий газ, который после кислотной обработки пласта горел в течение 3-х часов.

3. Гидротермально-метасоматическое изменение глинистого цемента песчаников. Чаще всего данному процессу оказался подверженным цемент гидрослюдистого и гидрослюдисто-хлоритового состава. В шлифах четко прослеживается постепенное замещение цемента аутигенным каолинитом и превращение песчаников в слабоцементированные разности и даже в сыпучий песок. Такого рода превращения установлены в кожайской подсвите приютовской свиты верхнего рифея в скв. 800 Сергеевка и 100 Кушкуль. Здесь из песчаников кожайской подсвиты получены высокие притоки пластовой воды дебитом 853 – 1000 м³/сут. Частичное замещение гидрослюдистого цемента каолинитом наблюдалось в песчаниках тюрюшевской и ротковской свит нижнего рифея.

Следует добавить, что на всех стратиграфических уровнях рифейские песчаники обнаруживают трещиноватость, улучшающую их коллекторские свойства. Так, в скв. 1 Лезуинская в кварцитовидных песчаниках тукаевской свиты на глубине 5056 м отмечалось поглощение бурового раствора, обусловленное их трещиноватостью.

Карбонатные породы в составе рифея образуют толщи мощностью до 1,5 км. В них методом ГИС и бурением выявлены отдельные проницаемые пласты. К наиболее важным эпигенетическим процессам, способствовавшим образованию их емкостно-фильтрационных свойств, следует отнести перекристаллизацию, выщелачивание, окремнение, стилолиты- и трещинообразование.

Лабораторными исследованиями установлено, что плотные разности карбонатных пород с микро- и тонкозернистой структурой являются непроницаемыми, и общая пористость их составляет < 1 %. Процессы перекристаллизации доломитов и вторичной доломитизации известняков увеличивают ее значения до 1,5 – 3,0 %, а проницаемости до сотых долей мкм². В кавернозных карбонатах максимальная пористость составляет 5 – 7%, проницаемость может быть самой разной (от 0,001 до 0,057 мкм²). Основным фактором, сформировавшим эпигенетические коллекторы в карбонатных породах рифея, является трещинообразование. Рифтогенез создавал условия неоднократного растяжения и сжатия пород с образованием трещиноватости. Разбитость разнонаправленной трещиноватостью установлена практически во всех карбонатных толщах, количественно возрастает в более хрупких окремнелых разностях.

Наличие коллекторов среди карбонатных пород подтверждается получением притока газированной пластовой воды дебитом 34,88 м³/сут из доломитов ашитской подсвиты калтасинской свиты нижнего рифея в скв. 1 Вос-

точно-Аскинская в интервале 4736,4 – 4744,7 м. Коллекторские свойства доломиты приобрели за счет трещиноватости, наблюдаемой как в керне, так и в шлифах. Кроме того, в ряде скважин в карбонатных толщах отмечалось поглощение бурового раствора, свидетельствующее о наличии пустотного пространства.

Растяжение и раскрытие разломов, сопутствующие рифтогенезу, сопровождалось внедрением в них магматических расплавов, сформировавших дайки габброидов. Высокотемпературные расплавы на контактах с осадочными породами из-за неравномерного прогрева вызывали дополнительные напряжения и приводили к растрескиванию последних. Изучение керна и материалов данных промыслово-геофизических исследований скважин выявило, что зоны экзо- и эндоконтактов обладают повышенной проницаемостью, тогда как центральные части интрузий практически остаются непроницаемыми.

В Предуральской зоне интенсивному подземному «выветриванию» были подвергнуты породы диабазовой формации, залегающие в виде даек, секущих рифейские отложения. Так, в скв. 1 Леузинская некогда крепкие интрузивные породы под влиянием гидротермально-метасоматических и геодинамических процессов превращены в дезинтегрированную перемятую массу, сложенную исключительно вторичными минералами: хлоритом, серпентином, серицитом, кальцитом и др. В шлифах видны открытые каверны и соединяющие их микротрещины. На радиокартаже «выветрелым» габброидам соответствует наиболее выраженный спад кривой НГК (инт. 5077 – 5087 м), общая пористость пород достигает 25%.

Глинистым породам, представленным аргиллитами, в отложениях венда и рифея, прежде всего, отведена роль флюидоупоров, чему в целом не противоречат результаты рентгеноструктурных исследований их минерального состава. Однако с глубиной, а также в зонах тектонических напряжений и повышенных температур, пластичность глинистых пород снижается, что обусловлено потерей части физически связанной воды и приобретением ими гидрофобных свойств. Так, в скв. 62 Кабаково на глубине 2,7 км гидрослюды аргиллитов обнаруживают около 30 разбухающих смектитовых пакетов, тогда как на глубине 5,5 км их количество снижается до 16.

В Предуральской зоне высоких коллизионных напряжений аргиллиты рифея и венда становятся менее пластичны-

ми, приобретают дополнительную трещиноватость. В приразломных зонах они способны стать коллекторами. Примером могут служить сильно трещиноватые аргиллиты ольховской свиты среднего рифея в скв. 1 Леузинская (инт. 4720 – 4950 м), которые, по данным геофизических исследований, являются газонасыщенными. Роль газопоры над ними выполняет пачка плотных мергелей и доломитов верхней части той же свиты, которые сохранили свою целостность в столь сложной геодинамической обстановке.

Эпигенетические коллекторы как в терригенных, так и в карбонатных породах нередко приурочены к кровельным частям толщ, залегающих под размытыми поверхностями. Здесь чаще всего встречаются порово-каверновый и каверново-трещинный типы коллекторов. В слоистых разностях каверны имеют удлиненно-вытянутую форму, а в массивных – овално-изометричную. Их размер колеблется от 0,1 до 0,8 мм и более. Нередко сообщение каверн между собой осуществляется микротрещинами шириной от 1 - 2 до 20 - 25 мкм.

Значительная часть трещин, а также каверн на завершающей стадии регрессивного эпигенеза пород рифея была выполнена вторичными минералами: кальцитом, доломитом, кварцем, реже – баритом, хлоритом, сульфатами.

В итоге можно сделать следующие основные выводы:

1. Удовлетворительные коллекторы в отложениях венда и рифея имеют эпигенетическую природу и сформировались под влиянием геохимических и геодинамических факторов.
2. К числу геохимических факторов следует отнести воздействие на породы реакционных гидротермальных растворов как кислого, так и щелочного состава. Основным источником гидротерм – кристаллический фундамент, деятельность которого усиливалась в периоды тектономагматической активности.
3. Основные геодинамические факторы – это процессы, обусловившие формирование трещиноватости пород: разломообразование, деформация, тектонические напряжения коллизионных зон, высокие температуры на контактах с магматическими расплавами.
4. Коллекторские свойства могут приобрести все рассматриваемые отложения литологические разности пород в случае нахождения их в благоприятных для этого геологических условиях.
5. До изученной нами глубины 5,5 км в рифейско-вендских отложениях преобладающими являются песчаные коллекторы.

В отдельных случаях в рифее встречаются коллекторы среди карбонатных пород, аргиллитов и габброидов.

Литература

Морозов С.Г., Лисовский Н.Н., Иванова Т.В., Андреев Ю.В. Роль постседиментационных процессов в формировании пород-коллекторов верхнего докембрия Башкирии в связи с перспективами нефтегазоносности. Коллектора нефти и газа на больших глубинах. *Тезисы II Всесоюзной конференции*. М. 1978. 101-103.

Стратиграфическая схема рифейских и вендских отложений Волго-Уральской области. Уфа, 2000.

Поздравляем Юрия Андреевича Волкова

