

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ РИФОГЕННОГО ТИПА ВОСТОЧНОГО БОРТА КАМСКО-КИНЕЛЬСКОГО РИФТА

Отдел вещественного состава ГУП «НПО Геоцентра РТ» занимался исследованием литолого-минералогических особенностей и структуры пустотного пространства пород-коллекторов различного типа Волго-Уральской провинции. Важнейшим типом коллекторов этого региона являются карбонатные коллекторы, эффективная разработка которых требует детального изучения структуры коллектора и морфологии пустотного пространства. Проводимые исследования требуют специальной аппаратуры оптического-микроскопического (Leica) и электронно-микроскопического плана (растровый электронный микроскоп XL-30). Использование этой аппаратуры позволило перейти к конкретному изучению практически новых объектов – нетрадиционных коллекторов, фильтрационные процессы в которых осложнены тонкодисперсными наноминеральными фазами.

Нефтегазоносность Волго-Уральской провинции связана с широким спектром палеозойских отложений, захватывающих девонский, каменноугольный и пермский периоды. Несмотря на то, что основным нефтеносными отложениями являются терригенные отложения девона и карбона, существенная роль принадлежит карбонатным коллекторам (Рис. 1, 2). В их объеме большая доля приходится на карбонатные отложения фаменского, турнейского и башкирского ярусов. Особенностью коллекторов этих горизонтов является сложность структуры порового пространства, формировавшегося в результате комплекса процессов первичного карбонатакопления, последующей перекристаллизации и формирования трещинного скелета, что позволяет отнести эти коллекторы к классу сложных и нетрадиционных.

Литолого-стратиграфическая характеристика отложений рассматриваемого региона, несущих такие коллекторы, достаточно хорошо охарактеризована в работах Тихого Н.А. (1937), Антропова В.И. (1960) и др. исследователей. Однако особенности карбонатных образований – как нефтеносных формаций, остаются в настоящее время дискуссионными и недостаточно изученными.

Нами проводились исследования карбонатных нефте-

носных горизонтов верхнедевонских и каменноугольных отложений в пределах Татарского свода Волго-Уральской провинции. Татарский свод является одним из главных тектонических сооружений, особенности геодинамического развития которого во многом определили протерозойско-палеозойскую историю осадконакопления востока Русской плиты (Изотов и др., 1996). Это определяется геодинамической мобильностью этой сложной структуры, определившей заложение основных рифтовых сооружений Восточно-Европейского региона в авлакогенный и поставлакогенный периоды развития земной коры.

Протерозойские рифтовые сооружения в составе Сергиевско-Абдуллинской, Верхне-Камской и Казанско-Кировской авлакогенных зон определили основные контуры Татарского свода. Однако в палеозойское время его геодинамическая активность продолжала развиваться, что выразилось первоначально в формировании Камской зоны разломов, разделивший Кукморский и Альметьевский выступы свода, а затем и в формировании сложной и разветвленной системы, выделенных под названием Камско-Кинельской системы прогибов (Мкртчян, 1980).

Изучение особенностей тектонического строения и со-

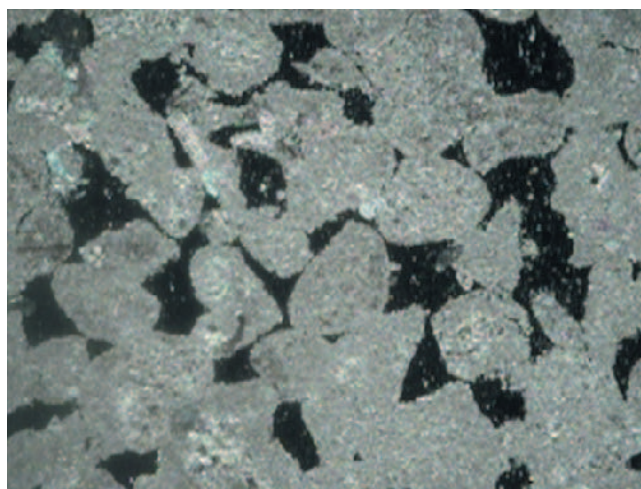


Рис. 1. Миннибаевская площадь, скв. 32706, гл.1385,5 м. Известняк комковатой структуры, сингенетический тип пористости. Никולי +, ув.80х.

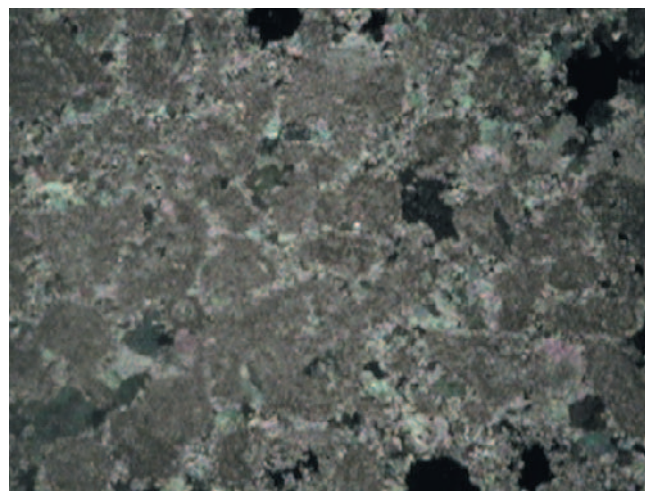


Рис. 2. Миннибаевская площадь, скв.32706, гл.1390,0 м. Известняк комковатой структуры с изолированными порами, межпоровое пространство заполнено вторичным кальцитом, диагенетический тип пористости. Никולי +, Ув. 80х.

членения Камско-Кинельской системы прогибов с основными структурными элементами Татарского свода и анализ особенностей осадочных комплексов верхнедевонско-каменноугольного времени, выполняющих эту систему прогибов, позволяет сделать обоснованный вывод о том, что эта система прогибов представляет собой зачаточную рифтовую зону (Изотов, Ситдикова, 2004). При этом в отличие от типичных рифтов востока Русской плиты, имеющих относительно строгие линейные контуры, Камско-Кинельская рифтовая система, заложенная на уже консолидированном фундаменте земной коры, была вынуждена оконтуривать ранее сформированные стабильные участки земной коры, что объясняет раздробленность и причудливые очертания этой рифтовой зоны пересекающей разнородные в структурно-тектоническом отношении регионы.

Особенностью Камско-Кинельской рифтовой зоны и ее сочленения со структурами Татарского свода является кулисообразное строение ее бортов, связанное с последовательным заложением субпараллельных разломов в теле архейско-протерозойского кристаллического фундамента. Это привело к развитию систем террасовидных уступов особенно хорошо выраженных на западном склоне свода (Войтович, Гагятуллин, 2003). В пределах этих террасовидных уступов возникали отдельные структурные элементы, явившиеся основанием рифогенных построек сложного многоэтажного типа, оконтуривающих восточный борт Камско-Кинельской системы. Такие постройки вытянутые вдоль границы структурных террас формировали барьерные рифовые цепи. Практически с каждым звеном этих цепей (с каждым индивидуальным рифом) связаны мелкие и средние месторождения нефти – спутники Ромашкинского месторождения.

Наибольшее развитие рифогенные постройки получили в верхнедевонское-среднекаменноугольное время в периоды специфических климатических и палеогеографических условий, периодически повторяющихся во времени. Это обусловило многоэтажность рифовых построек. В соответствии с последовательным формированием уступов бортовых частей Камско-Кинельской системы рифогенные постройки последовательно перемещались в сторону центральной части системы, одновременно меняя стратиграфический уровень от фаменско-турнейского к башкирскому. Наибольшее развитие рифогенные постройки получили в турнейское и башкирское время.

Изучение структурных особенностей и цикличности строения этих построек позволяет отнести их к атоллово-му типу, в пределах которого происходит закономерная смена различных структурных типов карбонатных пород в зависимости от соотношения гидродинамической активности и химизма среды, соотношения степени перекристаллизации осадка и степени соотношения обломочной и микритовой составляющей.

Проведенные исследования свидетельствуют, что нижне-каменноугольные отложения являются весьма изменчивыми, что обусловлено лито-геодинамическими факторами. Данные поисково-разведочного бурения позволяют провести широкое сопоставление условий формирования этих отложений с особенностями геодинамического развития территории, обусловленного последовательностью формирования структурно-геодинамических террас фундамента Татарского свода.

Неравномерное опускание блоков террас обусловило формирование выступов рельефа дна девонско-каменноугольного морского бассейна и формирование в наиболее приподнятых частях террасовых блоков рифогенных комплексов. В ходе эволюции этих структур создавались специфические палеогеографические условия специфического развития локальных палеорифов, сложенных различными литотипами карбонатных пород. Каждый из этих литотипов характеризуется свойственной ему спецификой пустотного пространства. Поэтому главной задачей изучения коллекторов этого типа является проведение обоснованной типизации карбонатных пород.

При выделении литотипов необходимо учитывать многофакторность процессов карбоната накопления в геодинамически контрастных обстановках. Существующие классификации карбонатных пород обычно учитывают гидрхимический фактор бассейна осадконакопления (классификация Т.И. Теодоровича), базирующаяся на соотношении кальция – магния в породе. Однако сложность и многообразие рифогенных карбонатных построек требует более многофакторной классификации нежели соотношение кальцит-доломит.

Более приемлемой в этом плане является классификация по Т.Д. Бисселу и Д.В. Чилингару (1970), которая учитывает как фактор химизма среды (соотношение кальцита и доломита), так и гидродинамическую активность среды.

Проведенные нами исследования коллекторов Татарского свода показывают, что учет этих факторов для характеристики особенностей формирования пород явно недостаточен, так как эти образования в последующем, в основном, под влиянием стадияльно-литологического и геодинамического факторов претерпели постседиментационную эволюцию, выразившуюся в различной степени перекристаллизации. Именно этот процесс сопровождался существенным изменением и перестройкой структуры порового пространства.

С учетом этого фактора нами предлагается проводить классификацию карбонатных пород-коллекторов Вол-

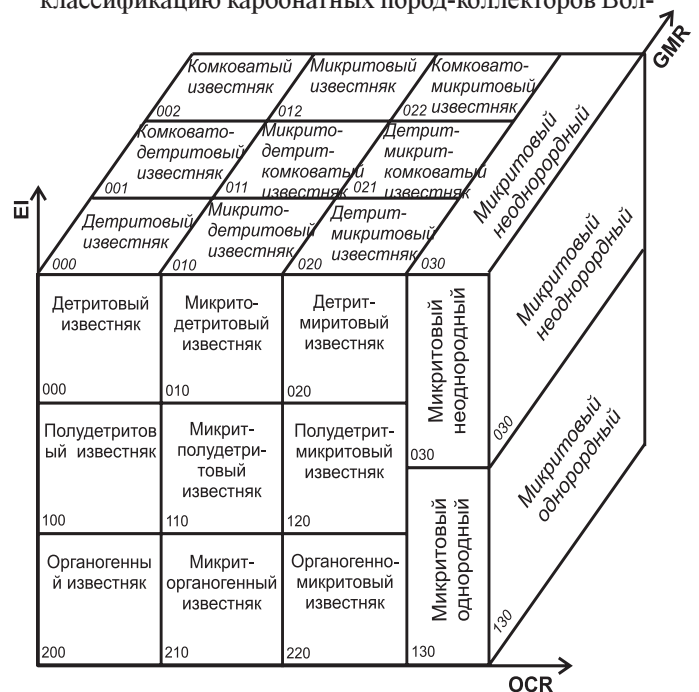


Рис. 3. Диаграмма соотношения литотипов коллекторов Татарского свода.

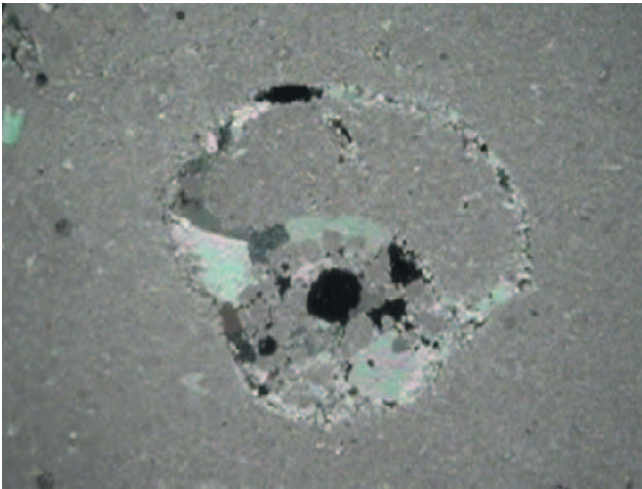


Рис. 4. Миннибаевская площадь, скв.32706, гл.1385 м. Пелитоморфный известняк. В центральной части – образование пор в результате пустот камер фораминифер. Николи +, Ув. 80х.

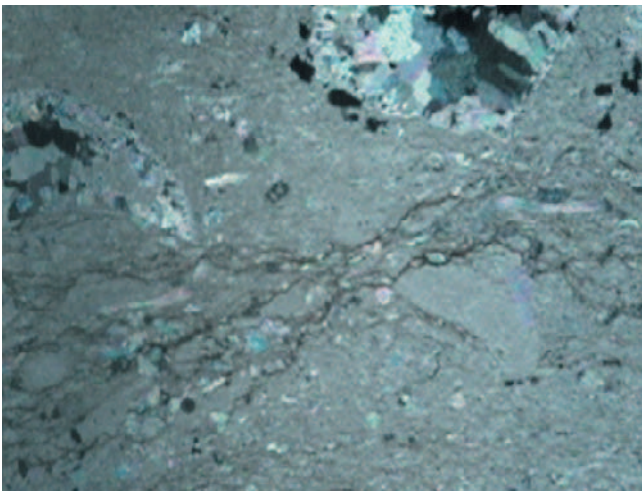


Рис. 5. Миннибаевская площадь, скв.3089, гл.1217 м. Пелитоморфный известняк, частично раскристаллизованный, с волнистой микропорециноватостью. Николи +, Ув. 80х.

го-Уральского региона на основе использования следующих трех параметров (Изотов и др., 2001):

1. Энергетическая – гидродинамическая активность среды (индекс EI – Energy Index), характеризующая степень детритизации пород в ходе формирования.

2. Соотношение хемогенно-органогенного фактора



Рис. 6. Миннибаевская площадь, скв.3089, гл.1253м. Стилолитовый шов, декорированный битумоидами. Николи II, Ув. 80х.

осадконакопления (индекс OCR – Organic-Chemical Relation).

3. Степень перекристаллизации осадка – соотношение зернистой массы и илового материала (индекс GMR – Grain-Micrite Relation).

Использование трех факторов дает возможность составить диаграмму соотношения основных литотипов в виде классификационного куба, оси которого соответствуют приведенным параметрам-факторам (Рис. 3).

Использование разработанной классификации позволяет выделить дробные литологические типы коллекторов, среди которых локализованы наиболее благоприятные горизонты и зоны для локализации углеводородных залежей. В качестве примера рассмотрим применение этой классификации к анализу литологических типов пород фаменских рифогенных комплексов. Отложения фаменского яруса формировались в условиях мелководного морского режима в бассейне с высокой соленостью и представлены либо известково-доломитовыми, либо глинистыми отложениями. Ведущими типами пород являются известково-доломитовые толщи, местами интенсивно пористые, которые несут локальные залежи углеводородов. Залежи неоднородны по своему строению, крайне невыдержанны как по вертикали, так и по горизонтали.

Для характеристики литологических и минералогических особенностей фаменского яруса, изучения структуры пустотно-порового пространства с последующей характеристикой фильтрационно-емкостных свойств были выбраны две скважины – 3098D и 32706 Миннибаевской площади. Скважина 3098D вскрыла отложения фаменского яруса в интервале глубин от 1194 м до 1421 м, которые представлены отложениями заволжского, данково-лебединского и елецкого горизонтов.

Отложения фаменского яруса в скважине 3098D сложены органогенно-детритовыми и фораминиферовыми известняками, пелитоморфной, реже комковатой структуры, участками в разной степени перекристаллизованными. Породы характеризуются высокими значениями пористости и проницаемости. С глубины 1397 м органогенные известняки переходят в доломитовые известняки и доломиты с включениями ангидрита, кристаллической микро- и мелкозернистой структуры. Присутствие в составе изучаемых пород доломита снижает значения проницаемости, вплоть до образования непроницаемых горизонтов.

Породы скважины 32706 в интервале глубин от 1366 м до 1404 м представлены отложениями данково-лебединского и елецкого горизонтов, и сложены органогенными и водорослево-органогенными известняками комковатой, реже пелитоморфной структуры, проницаемыми, участками перекристаллизованными.

Для анализа характеристики пустотно-порового пространства изучались два типа известняков: комковатые и пелитоморфные, представленные в скважинах 3098D и 32706 Миннибаевской площади, как наиболее интересные с точки зрения локализации углеводородов.

Формирование структуры пустотно-порового пространства для коллекторов фаменского яруса верхнего девона по данным наших исследований зависит от комплекса факторов: седиментационного, диагенетического, катагенетического.

В комковатых известняках (тип 002, 012, 022) выделяется 3 главных типа пористости:

1) Сингенетический тип: распространен в известняках комковатого типа, частично органогенных. Поры крупные, хорошо взаимосвязанные, форма пор определяется характером и способом сочетания комков (Рис. 1).

Переход от сингенетического типа пористости к диагенетическому устанавливается по степени преобразования осадка, что выражается в процессах растворения – перекристаллизации карбонатного материала. В результате этих процессов происходит отложение в промежутках между комками известняков кальцита. В этих породах первичная структура еще прослеживается.

2) Диагенетический тип: в процессе дальнейшей перекристаллизации возникают изолированные поры, связь между которыми капиллярная, что существенно снижает значения фильтрационных свойств пород (Рис. 2).

3) Катагенетический тип: с усилением процесса перекристаллизации происходит дальнейшее уплотнение пород. Известняки комковатой структуры переходят в сильно перекристаллизованный мраморовидный известняк. Пористость в этих типах известняков практически равна нулю. Породы становятся практически бесперспективными в отношении локализации углеводородов.

Второй не менее важный тип пород этих образований – микритовые (пелитоморфные известняки, тип 030, 130), в которых устанавливаются те же генетические типы пористости, но морфологически выраженные другими формами:

1) Сингенетический тип: тонкокристаллические фораминиферовые известняки, возникшие за счет перекристаллизации известковистого ила. В этих породах поры формируются за счет пустот камер фораминифер и капиллярных каналов между зернами карбонатного материала (Рис. 4). Проницаемость таких известняков практически равна нулю.

2) Диагенетический тип: полуаморфная масса пород постепенно раскристаллизовывается, участками возникает извилистая стилолитоподобная микротрещиноватость. В пелитоморфных известняках с точки зрения фильтрационных свойств в этих породах большое значение приобретают трещины декомпрессии, с которыми связано пустотное пространство (Рис. 5).

3) Катагенетический тип: в результате активно развивающихся кристаллизационных процессов породы становятся полностью перекристаллизованными, даже изолированные поры практически исчезают. После снятия давления раскрываются стилолитовые швы, которые декорируются битумоидами (Рис. 6). Фильтрационные свойства породы этого типа связаны в основном с трещиноватостью.

Наиболее перспективными типами исследуемых пород на предмет нахождения углеводородов являются известняки комковатой структуры с сингенетичным типом пористости, а так же пелитоморфные известняки, прошедшие катагенетическую стадию с трещинным типом пустотного пространства.

Приведенная выше классификация карбонатных пород с учетом структуроформирующих факторов позволяет привязать определенные структурные типы карбонатных пород к отдельным зонам рифогенных построек. Согласно этой классификации в периферической зоне рифогенных построек развиты детритовые и полудетритовые известняки, переходящие по латерали в органогенные и микрит-органогенные известняки. Эти известняки в свою очередь переходят в органогенно-микритовые известняки.

Центральная часть рифогенных построек, соответствующая рифогенной лагуне сложена различными типами комковатых и комковато-микритовых известняков.

Смена различных структурных типов известняков хорошо прослеживается по керну горизонтальных скважин, пересекающих рифогенные постройки. Изучение геодинамических условий локализации рифогенных построек позволяет делать обоснованный прогноз особенности локализации рифогенных массивов и проводить детальный структурный анализ, прогнозируя особенности их строения и условия локализации зон, повышенных значений фильтрационно-емкостных свойств, так как со многими рифогенными постройками восточного борта Камско-Кинельской системы связаны многочисленные месторождения нефти представляющие собой сателлиты одного из крупнейших – Ромашкинского месторождения нефти.

Выделенные типы известняков закономерно чередуются в разрезе, при этом наиболее нефтенасыщенными являются комковатые известняки и трещиноватые сильно перекристаллизованные известняки, разделенные пластинами умеренно перекристаллизованных известняков.

Учитывая характер распределения углеводородов в этих известняках и ритмичное чередование пластин различной степени механической проработанности можно предположить, что комковатые известняки являются аккумуляторами углеводородов, своеобразной губкой, которая под воздействием периодических геодинамических нагрузок перераспределяет углеводороды в микротрещиноватые участки по принципу «аккордеона». При этом миграция флюидов осуществляется через умеренно перекристаллизованные пластины с капиллярной проницаемостью, фильтрующие в основном легкие углеводороды.

Предложенная модель перераспределения углеводородов в толщах фаменских рифовых сооружений известняков позволяет объяснить их неравномерное распределение по разрезу пластов и прогнозировать наличие наиболее нефтенасыщенных горизонтов, что особенно важно при проектировании заложения направленных горизонтальных стволов по зонам максимальных фильтрационных свойств продуктивных горизонтов.

Литература

- Антропов И.А., Батанова Г.П. Нефтеносность девона востока Татарии. *Стратиграфия*. Тр. КФАН СССР. Сер. Геол. 1960. Вып. VI. Т. 1.
- Войтович Е.Д., Гатиятуллин Н.С. *Тектоника Татарстана*. Изд-во КГУ. 2003.
- Бисселл Г.Д., Чилингар Д.В. Классификация осадочных карбонатных пород. *Карбонатные породы*. М.: Мир. 1970. 87-164.
- Изотов В.Г. Эволюция докембрийских породных комплексов востока Русской плиты. *Кристаллический фундамент Татарстана и проблемы его нефтегазоносности*. Казань. «Дента». 1996. 134-145.
- Изотов В.Г., Ситдикова Л.М., Волков Ю.В., Прыгунов О.А. Условия формирования и типизация коллекторов турнейского яруса Татарского свода. *Литология и нефтегазоносность карбонатных отложений*. Мат-лы II литолог. совещ. Сыктывкар: Геопринт. 2001. 140-142.
- Изотов В.Г., Ситдикова Л.М. Геодинамические условия формирования и особенности строения барьерных рифовых цепей Татарского свода. Мат-лы VI Уральского литологического совещания. *Карбонатные осадочные последовательности Урала и сопредельных территорий*. Екатеринбург. Изд-во ИГГ УрО РАН. 2004. 62-63.
- Мкртчян О.М. *Закономерности размещения структурных форм на востоке Русской плиты*. М.: Наука. 1980.
- Тихий В.Н. и др. *Волго-Уральская нефтеносная область. Девонские отложения*. Тр. ВНИГРИ. Л.: Гостоптехиздат. Вып. 106. 1937.