

УДК 550.8.055

Р.С. Сауткин¹, Р.А. Хамидуллин², Н.И. Коробова³

ТРЕЩИНОВАТОСТЬ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ ФОРМАЦИИ НА СЕВЕРНОМ СКЛОНЕ ЮЖНО-ТАТАРСКОГО СВОДА

Проблема изучения доманиковых отложений и их коллекторского потенциала относится к числу важнейших. Открытие в аналогичных породах месторождений углеводородов на различной глубине, значительная изменчивость фильтрационно-емкостных свойств, неоднозначность установления значений эффективной толщины поставили перед исследователями задачу их более достоверной оценки. Наибольший интерес представляет высокоуглеродистая керогеново-карбонатно-кремнистая толща, характеризующаяся развитием разноориентированных систем трещин.

Ключевые слова: высокоуглеродистая формация, доманиковые отложения, трещиноватость, фильтрационно-емкостные свойства, Южно-Татарский свод.

The problem of studying Domanik deposits and the collection potential is one of the most important. Opening in similar rocks hydrocarbon fields at various depths, considerable variability of reservoir properties, the ambiguity of the establishment of effective thickness — the researchers set the task of their more reliable evaluation.

Key words: rich organic formation, Domanik deposits, fractures, reservoir properties, South-Tatarian high.

Введение. В настоящее время разведанные запасы нефти из традиционных резервуаров сокращаются, что приводит к снижению добычи нефти. Один из возможных источников поддержания добычи на современном уровне — вовлечение в разработку углеводородов (УВ), содержащихся в сложных и нетрадиционных резервуарах. При изучении сложных и нетрадиционных коллекторов главная задача состоит в определении морфологии пустот, изучении трещиноватости и оценке изменчивости фильтрационно-емкостных свойств. Это возможно при применении метода капиллярной дефектоскопии, который основан на явлении капиллярного проникновения люминесцирующей жидкости в мельчайшие открытые полости образца кубической формы с гранью 5 см [Багринцева и др., 2013]. Кубическая форма образца позволяет определить ориентированную газопроницаемость, а насыщение керна — оценить эффективную емкость внутренних пустот и выявить морфологию, раскрытость трещин и каверн при фотографировании образца в источнике ультрафиолетового света после обработки его специальными сорбентами.

Изучение морфологии пустотного пространства и определение фильтрационно-емкостных свойств. Эффективная мощность высокоуглеродистой формации связана интервалами разреза, максимально затронутыми процессами образования трещин и каверн. Связующие трещины и пустоты, нахо-

дящиеся в высокоуглеродистых пластах, а также в прилегающих пластах низкоемких кремнисто-карбонатных пород, обуславливают единое пустотное пространство в высокоуглеродистой формации. К эффективной мощности часто относят интервал разреза всей высокоуглеродистой формации, хотя правильнее относить к ней суммарную мощность отдельных прослоев пород, которые выполняют роль коллектора, расположенного среди углеродистых нефтегазоматеринских толщ.

Искусственное создание пустотного пространства в кремнисто-карбонатных породах за счет техногенного воздействия на пласт и дополнительной системы трещин увеличивает эффективную мощность и обуславливает подток углеводородов из сопредельных нефтематеринских толщ, увеличивая продуктивность скважин.

Изучение вещественного состава пород и вторичных изменений в окрашенных шлифах показало большое разнообразие литогенетических типов и изменчивость их свойств с глубиной в разрезе скважин.

Использование данных геофизических исследований скважин (ГИС), выделение литогенетических типов пород и анализ постседиментационных преобразований в отложениях позволили построить геолого-геофизический разрез северного склона Южно-Татарского свода. На разрезе, представленном на рис. 1, видно исключительное

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых, науч. с.; *e-mail:* r.sautkin@oil.msu.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых, науч. с.; *e-mail:* khra@geol.msu.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых, ассистент; *e-mail:* nataliya.korobova54@mail.ru

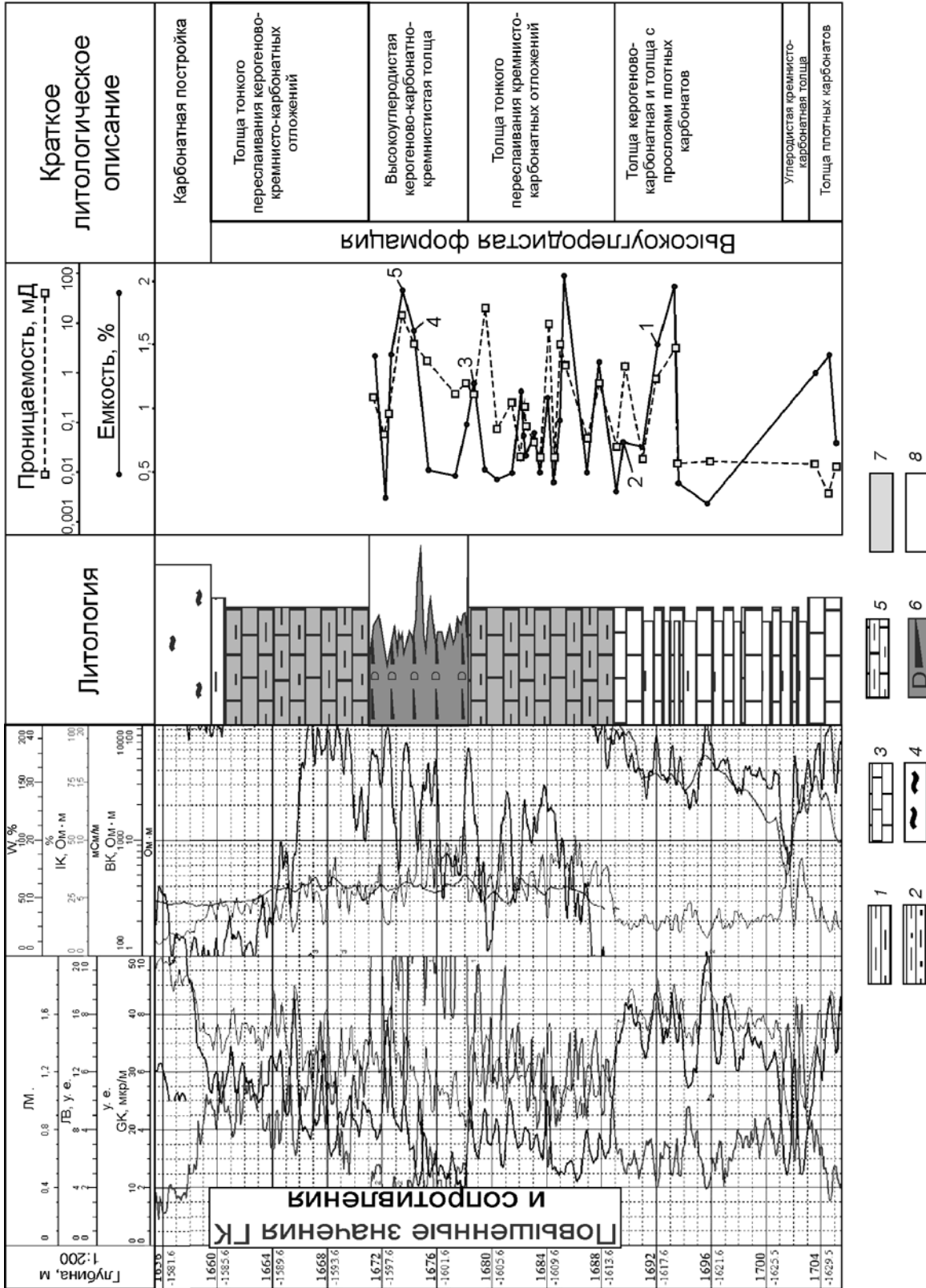


Рис. 1. Литолого-стратиграфическая характеристика северного склона Южно-Татарского свода [Ступакова и др., 2015] с изменениями: 1 — карбонатные глины, 2 — аргиллиты с прослоями известняков, алевролитов и песчаников, 3 — карбонатные породы, 4 — биогермная постройка, 5 — глинистые карбонаты, 6 — высокоуглеродистые кремнисто-карбонатные сланцевые породы, 7 — глинисто-карбонатные отложения, 8 — карбонатные отложения; 1–5 — номера образцов

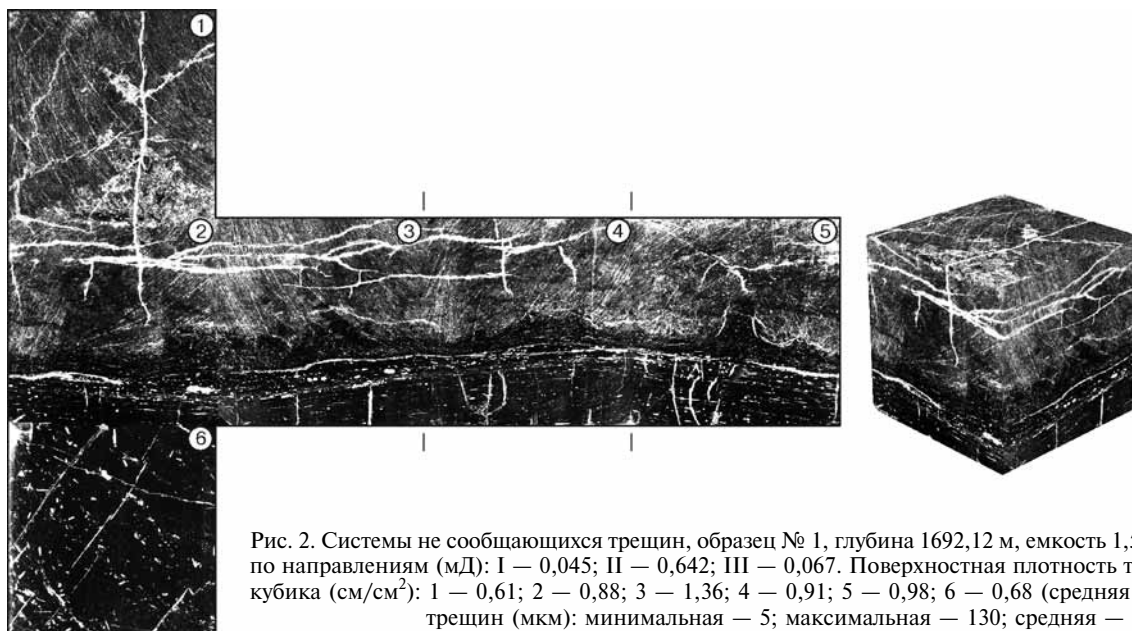


Рис. 2. Системы не сообщающихся трещин, образец № 1, глубина 1692,12 м, емкость 1,5%. Проницаемость по направлениям (мД): I — 0,045; II — 0,642; III — 0,067. Поверхностная плотность трещин по 6 граням кубика (см/см²): 1 — 0,61; 2 — 0,88; 3 — 1,36; 4 — 0,91; 5 — 0,98; 6 — 0,68 (средняя 0,89). Раскрытость трещин (мкм): минимальная — 5; максимальная — 130; средняя — 45

развитие низкоемких коллекторов трещинного типа.

Высокоуглеродистая толща саргаевско-семи-лукского возраста одновременно нефтегазоматеринская (НГМТ) и нетрадиционный резервуар. Эту толщу по данным комплекса ГИС-керна можно разделить на несколько ритмичных толщ: плотная карбонатная, углеродисто-кремнисто-карбонатная, керогеново-карбонатная с прослоями плотных карбонатов, толща тонкого переслаивания кремнисто-карбонатных отложений, высокоуглеродистая керогеново-карбонатно-кремнистая, в подошве и кровле толщи, ограниченные биогермными постройками [Ступакова и др., 2015].

Глинисто-карбонатная толща с прослоями плотных карбонатов представлена в основном переслаиванием тентакулитовых известняков, неравномерно перекристаллизованных с карбонатно-кремнистыми и кремнистыми породами. Здесь снизу вверх (образец № 1) залегает слой видимой мощностью до 1,5 см, сложенный кремнистой породой, содержит редкие (до 5–10%) биокласты тентакулит с продольным сечением до 1–1,5 мм; прослой кремнисто-карбонатного состава невыдержанной толщины (0,5–1 см) за счет карманообразных врезов в верхней части последнего.

Неясная слоистость подчеркнута многочисленными биокластами тентакулит (30–40%) длиной 0,5–1 мм; прослой видимой мощностью 2,2–3 см представлен биокластовым тентакулитовым известняком, неравномерно перекристаллизованным, с массивной текстурой. Нижняя граница прослоя эрозионная, с карманами внедрения амплитудой до 1 см.

В образце № 1 (рис. 2) выявлены две системы несообщающихся трещин. Первая система приурочена к тентакулитовым известнякам в основании образца, в ней развиты тонкие, прямолинейные короткие трещинки, оперяющие секущую слабо-

извилистую горизонтальную трещину с раскрытостью до 35–40 мкм.

Вторая система трещин развита в карбонатно-кремнистых прослоях и занимает верхнюю часть образца, где преобладают секущие горизонтальные трещины, соединенные между собой редкими вертикальными. Поверхностная плотность этой системы трещин высокая (до 1 см/см²), а раскрытость средняя (45–50 мкм). За счет этого латеральная проницаемость карбонатно-кремнистых пород достигает 0,642 мД. Эффективная емкость толщи составляет ~1,5%.

Толща тонкого переслаивания кремнисто-карбонатных отложений в образце № 2 представлена косолинзовидным чередованием темно-серых ритмитов карбонатно-кремнистого состава, черных керогеново-кремнистых пород, а также линз и стяжений серых известняков. Снизу вверх встречены ритмиты карбонатно-кремнистого и керогеново-карбонатно-кремнистого состава с тонким ритмичным чередованием слоев темно-серого и серого цвета. Масштаб чередования составляет 1–3 мм. Вдоль плоскостей напластования наблюдаются биокласты раковин тентакулит, угол наклона слоев варьирует от 5–7 до 10–15°. В основании этого прослоя наблюдается конкреционное образование карбонатного состава с видимым диаметром >2 см; 1 — черный прослой, керогеново-кремнистого состава. Присутствуют единичные биокласты тентакулит (до 3 мм в продольных сечениях), часто пиритизированные. В кровле наблюдаются карманообразные эрозионные врезы; 2,5 см — прослой серого цвета и кремнисто-карбонатного состава. Границы прослоя неровные, а текстура пятнистая и косолинзовидная (до 20°). В верхней части образца появляются серые линзы известкового состава неправильной формы размером (0,5–1)×1,3 см, насыщенные биокластами тентакулит.

В образце выявлена система секущих горизонтальных кулисообразных трещин с непостоянной раскрытостью, приуроченных к напластованию пород (рис. 3). В линзах присутствуют короткие вертикальные трещины. Преобладающее развитие горизонтальной системы трещин определяет анизотропию проницаемости, в латеральном направлении проницаемость составляет 1,113 мД, в горизонтальном — 0,022 мД. Поверхностная плотность горизонтальных трещин высокая (1,1 см/см²), эффективная емкость пород 0,72%.

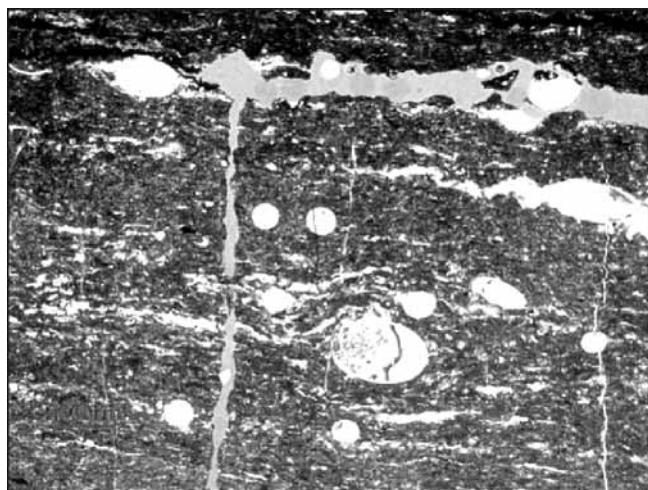


Рис. 3. Система кулисообразных секущих трещин, образец № 2, глубина 1689,6 м, емкость 0,72%. Проницаемость по направлениям (мД): I — 0,022; II — 1,088; III — 1,113. Поверхностная плотность трещин по 6 граням кубика (см/см²): 1 — 0,68; 2 — 1,12; 3 — 1,12; 4 — 0,97; 5 — 1,24; 6 — 0,44 (средняя 0,93). Раскрытость трещин (мкм): минимальная — 5; максимальная — 150; средняя — 80

В образце № 3 толща представлена кремнистой породой, неравномерно насыщенной биокластами тентакулит. Слоистость неясная, прерывистая, горизонтальная, участками полого-косая (5–7°), подчеркнута биокластами раковин тентакулит. Размер раковин до 0,5–0,7 мм в поперечных сечениях, до 0,5 мм в продольных. Содержание биокластов изменяется от 5–10 до 15–20%.

В породе развита система трещин, изученная как на образце кубической формы, так и в шлифах. Прокрашенные шлифы большого размера, изготовленные с одной из граней образца кубической формы, использованы не только для литологической характеристики пород, но и для обоснования развития густоты природной трещиноватости (рис. 4–5). Вертикальные тонкие секущие трещины имеют раскрытость 15–20 мкм, при более детальном исследовании в шлифах по трещинам выявлены крупные полости размером до нескольких миллиметров. Горизонтальные трещины секущие, с непостоянной раскрытостью от 7 до 95 мкм. Трещины заполнены битумом и частично выполнены кальцитом. Поверхностная плотность высокая (0,86 см/см²) (рис. 6). Порода изотропна, проницаемость в трех направлениях практически

не меняется, вертикальная — 0,518 мД, горизонтальная — 0,171 и 0,275 мД.

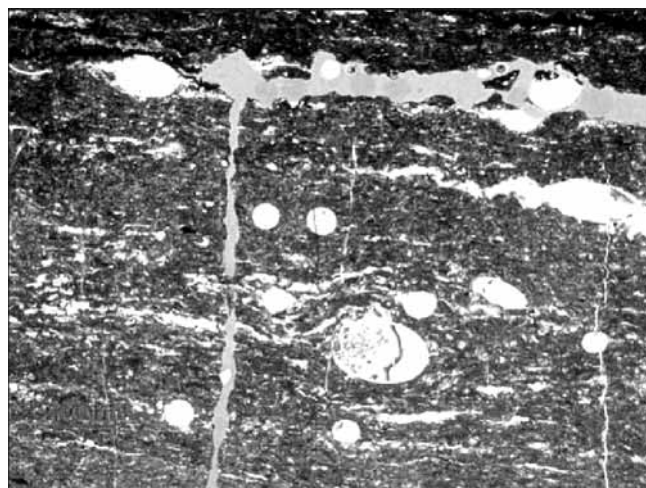


Рис. 4. Тонкие открытые вертикальные трещинки, соединяющиеся с горизонтальной трещиной, к которой приурочена щелевидная каверна с раскрытостью до 350 мкм. Фото шлифа, образец № 1

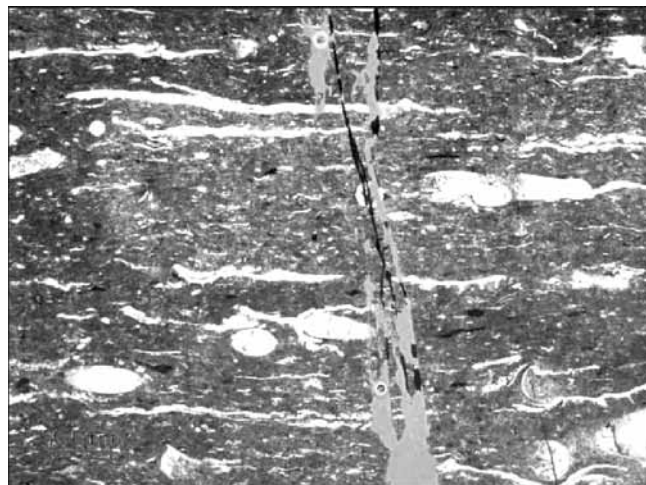


Рис. 5. Система открытых вертикальных трещин, частично выполненных битумом. Фото шлифа, образец № 3

Высокоуглеродистая керогеново-карбонатно-кремнистая толща представлена косо-линзовидным переслаиванием биокластовых коричневатых и темно-серых керогеново-кремнисто-карбонатных известняков, насыщенных биокластами тентакулит, и черных керогеново-кремнистых пород.

В образце № 4 снизу вверх встречены: выклинивающийся линзовидный прослой темно-серого до черного цвета и керогеново-кремнисто-карбонатного состава, который равномерно насыщен биокластами раковин тентакулит, что придает породе штриховатый облик, видимая толщина 1,2 см. Биокласты тентакулит приурочены к косоориентированным плоскостям напластования с наклоном слойков до 20°; черный прослой кремнисто-карбонатного состава, содержащий единичные биокласты тентакулит, видимая мощность 3 см; темно-серый прослой кремнисто-карбонатного состава, видимая мощность до 3 см.

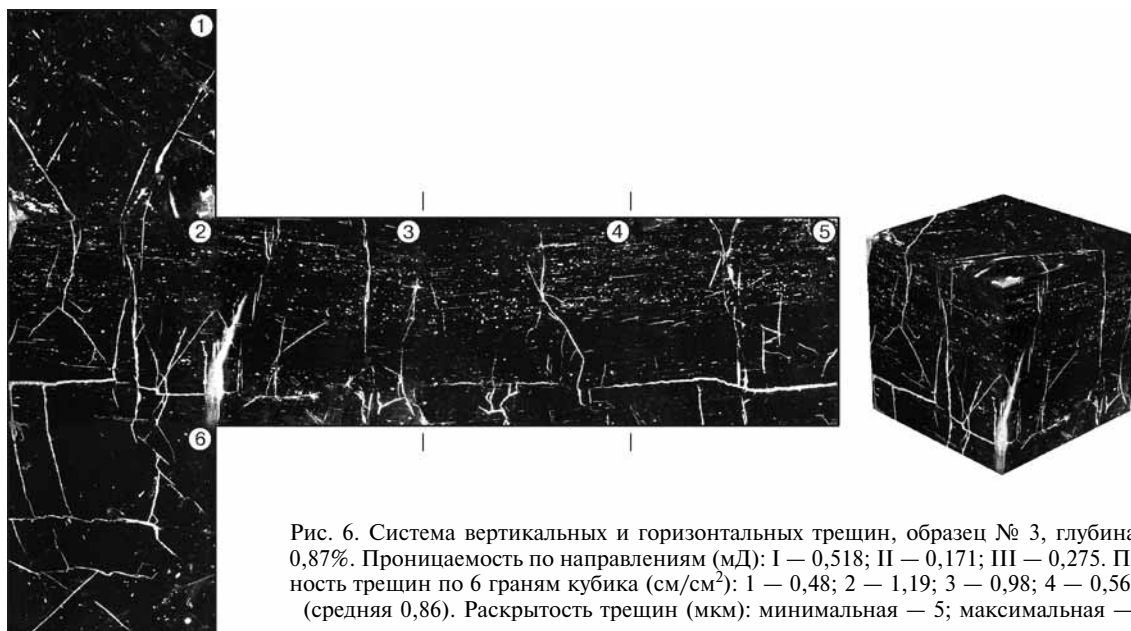


Рис. 6. Система вертикальных и горизонтальных трещин, образец № 3, глубина 1678,1 м, емкость 0,87%. Проницаемость по направлениям (мД): I — 0,518; II — 0,171; III — 0,275. Поверхностная плотность трещин по 6 граням кубика (см/см²): 1 — 0,48; 2 — 1,19; 3 — 0,98; 4 — 0,56; 5 — 0,88; 6 — 1,08 (средняя 0,86). Раскрытость трещин (мкм): минимальная — 5; максимальная — 95; средняя — 17

Включает линзы известняков, которые расположены под углом к горизонту от 5 до 20°. Линзы имеют неровную форму и размеры 0,5÷2×6÷7 см. Известняки биокластовые (тентакулитовые) бежево-серые, неравномерно пятнистые и трещиноватые; ниже залегают (0,5–1,5 см) черные керогеново-кремнистые породы с неясной, плохо выраженной косолинзовидной текстурой (угол до 20°), которые содержат на плоскостях напластования редкие биокласты тентакулит диаметром до 0,2–0,5 мм.

В образце выявлена система разноориентированных секущих трещин с максимальным развитием в прослоях известняков, имеющих линзовидное распространение (рис. 7). Поверхностная плотность трещин высокая (1,11 см/см²). Определена анизотропия проницаемости, горизонтальная достигает 3,2 мД, вертикальная проницаемость

меньше на порядок за счет присутствия в основании образца плотного слоя с большим количеством тентакулит. Эффективная емкость 1,61%.

Образец № 5 представлен линзовидным чередованием известняков и кремнисто-карбонатных пород. Границы между породами неровные, со следами внедрения и, возможно, оползания. Снизу вверх залегают: 0,5–0,8 см — выклинивающийся линзовидный прослой кремнисто-карбонатного состава, который в верхней части содержит оползневой прослой карбонатного состава размером 0,5×2 см, расположенный под углом до 20° к горизонту, а также карманообразный врез размером 1×2÷2,2, заполненный преимущественно карбонатным материалом; 1–1,5 см — линзовидный выклинивающийся прослой карбонатного состава с очень неровной карманообразной нижней границей; 0,4–0,8 см — линзовидный прослой



Рис. 7. Система разноориентированных секущих трещин, образец № 4, глубина 1674,23 м, емкость 1,61%. Проницаемость по направлениям (мД): I — 0,124; II — 3,200; III — 1,352. Поверхностная плотность трещин по 6 граням кубика (см/см²): 1 — 1,32; 2 — 1,25; 3 — 1,43; 4 — 1,16; 5 — 1,28; 6 — 0,16 (средняя 1,11). Раскрытость трещин (мкм): минимальная — 5; максимальная — 200; средняя — 65



Рис. 8. Линзовидное чередование известняков и кремнисто-карбонатных пород с разными системами трещин, образец № 5, глубина 1673,4 м, емкость 1,93%. Проницаемость по направлениям (мД): I — 0,028; II — 3,526; III — 11,642. Поверхностная плотность трещин по 6 граням кубика (см/см²): 1 — 2,21; 2 — 1,19; 3 — 1,44; 4 — 1,45; 5 — 1,68; 6 — 1,56 (средняя 1,59). Раскрытость трещин (мкм): минимальная — 5; максимальная — 180; средняя — 100

карбонатно-кремнистого состава переменной толщины, в нижней части содержит неровную выклинивающуюся линзу размером 0,1÷0,2×3 см; 0,9–2 см — линзовидный прослой карбонатного состава, неравномерно пиритизированный, обладает неровной нижней границей.

В известняковом прослое выявлена система горизонтальных секущих трещин с раскрытостью 7–95 мкм, обеспечивающих латеральную проницаемость до 11 мД. В кремнисто-карбонатном прослое наблюдается система вертикальных трещин с поверхностной плотностью до 2,2 см/см². Вертикальные трещины опережают горизонтальные, находящиеся на границе пород (рис. 8). Порода характеризуется анизотропией проницаемости из-за отсутствия вертикальных трещин в известняке, однако вертикальные трещины участвуют в фильтрационно-емкостных свойствах (ФЕС), так как опережают горизонтальные трещины. Эффективная емкость составляет 1,93%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Багринцева К.И., Сауткин Р.С., Шершуков Г.И. Применение капиллярной дефектоскопии в нефтяной геологии для выделения и оценки трещиноватости в горных породах // Megatech. Новые технологии в промышленной диагностике и безопасности. 2013. № 4. С. 24–32.

Выводы. 1. Наибольший интерес представляет высокоуглеродистая керогеново-карбонатно-кремнистая толща, характеризующаяся развитием разноориентированных систем трещин. Поверхностная плотность их достигает 2,2 см/см² при средних значениях 1–1,5 см/см². Проницаемость толщи относительно высокая, достигает 11 мД и более при емкости 1,5–2% и более.

2. Керогеново-карбонатные отложения содержат прослой плотных карбонатов, характеризуются развитием горизонтальной системы трещин с редкими тонкими вертикальными опережающими трещинками. Поверхностная плотность трещин изменяется от 0,8 до 1 см/см². Проницаемость обычно не превышает 1 мД, емкость 0,5%.

3. Распределение выявленной трещиноватости по литотипам и точная привязка к ГИС, а также опробование выделенных интервалов позволят выработать методику определения интервалов, способных отдавать углеводороды.

Ступакова А.В., Калмыков Г.А., Фадеева Н.П. и др. К оценке ресурсов и запасов сланцевой нефти // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2015. № 3. С. 3–10.

Поступила в редакцию
15.05.2015