

Коллекторские свойства и продуктивность рифейских отложений Юрубчено-Тохомского месторождения

Статья посвящена изучению рифейского низкоёмкого природного резервуара Юрубчено-Тохомского месторождения. Рассмотрены особенности строения и формирования пустотного пространства, влияющего на фильтрационно-емкостные свойства сложно построенного коллектора. В работе применен метод капиллярного насыщения пород люминесцирующими веществами (пенетрантами), в основе которого лежит капиллярное проникновение пенетрантов в мельчайшие открытые полости образца кубической формы (5x5 см). При просмотре насыщенного образца под источником ультрафиолетового света, а также изучении методом ртутной порометрии и растрового электронного микроскопа выявлена морфология пустотного пространства: геометрия пустот (трещин и каверн), поверхностная плотность трещин, их раскрытость и протяженность. Отдельно определяется эффективная ёмкость методом Преображенского с обязательной капиллярной подпиткой. Оценена продуктивность рифейских отложений и построен лито-физический разрез, доказывающий наибольшую перспективность нижнеюрубченской толщи рифея.

Ключевые слова: рифей, низкоёмкий резервуар, трещиноватость, капиллярная дефектоскопия.

Юрубчено-Тохомское месторождение расположено в западной части Сибирской платформы на Камовском своде Байкитской антеклизы. Месторождение открыто в 1982 г. При испытании скважины Юр-2 был получен приток газа 225,4 тыс. м³/сут, а в 1984 г. в открытом стволе скважины Юр-5 (интервал 2285-2295 м) получен приток нефти дебитом 284 м³/сут.

Рифейские отложения Юрубчено-Тохомской зоны нефтегазонакопления вызывают большой интерес, так как к ним приурочены большие запасы углеводородов. Впервые в мире из древнейших отложений рифея получены промышленные притоки нефти и газа во многих скважинах. Несмотря на большое число исследователей, занимающихся оценкой и изучением этого месторождения, до настоящего вре-

мени нет единого мнения об условиях формирования коллекторов и модели строения резервуара; также дискуссионным остаётся вопрос о типах коллекторов (Трофимук, 1992; Конторович и др., 1996).

Юрубчено-Тохомское месторождение имеет сложное блоковое строение рифейского комплекса, осложнённого серией дизъюнктивных нарушений (Харахинов и др., 2011). На рис. 1 приведено современное строение Юрубчено-Тохомского месторождения, схематично показаны выходы рифейских толщ на предвендскую эрозионную поверхность, и отмечены продуктивные скважины. Кровля рифея представляет размытую поверхность, которую несогласно перекрывают вендские отложения (Рис. 2). Проведённый анализ продуктивности скважин (Табл. 1) позво-

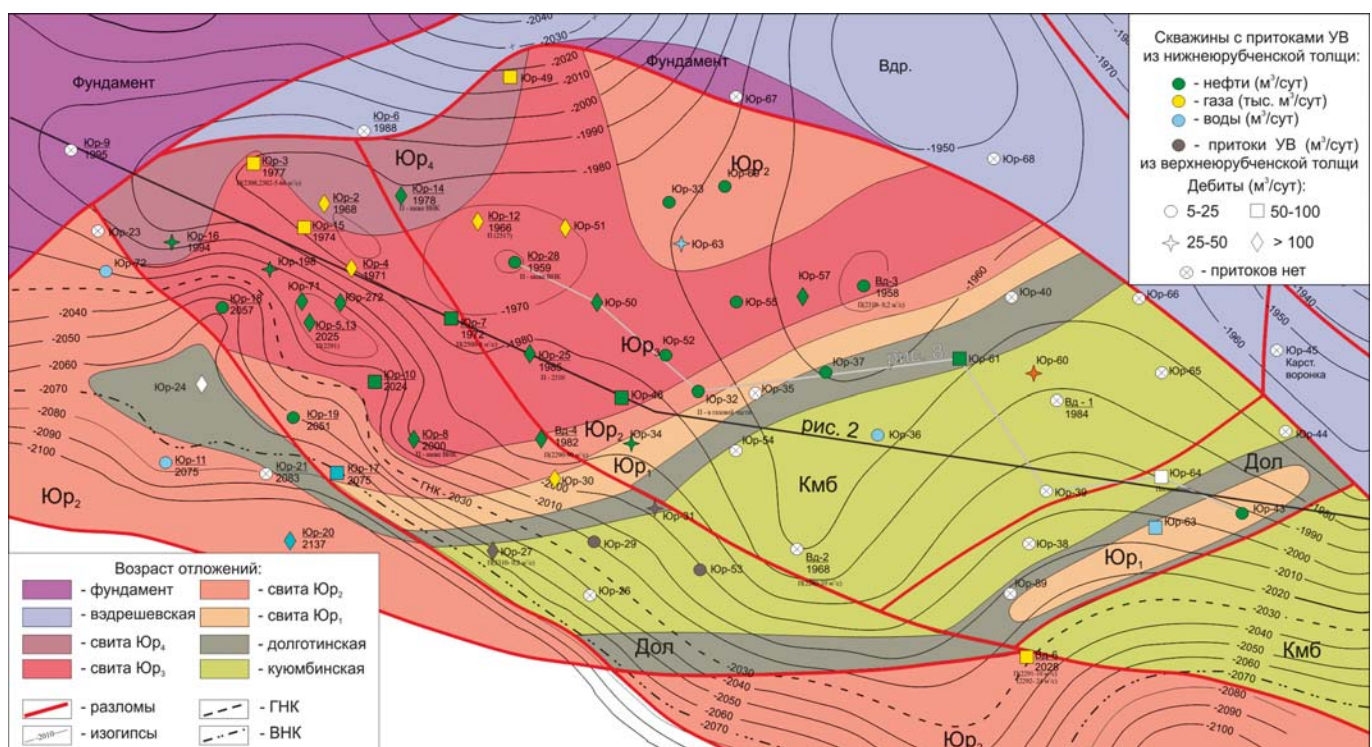


Рис. 1. Схематическая карта выходов рифейских отложений на предвендскую эрозионную поверхность и продуктивность скважин.

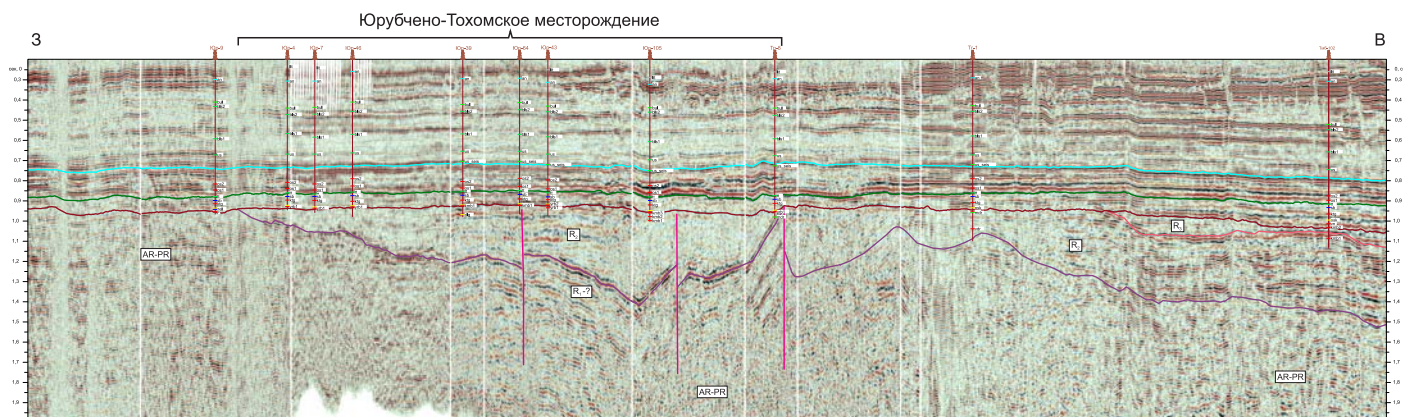


Рис. 2. Сейсмо-геологический разрез Юрубчено-Тохомского месторождения (по данным ПАО «НК «Роснефть»).

лил установить, что наиболее перспективной является свита $Юр_3$, которая отличается высокими дебитами нефти (до $600 \text{ м}^3/\text{сут}$) и газа ($40\text{-}302 \text{ тыс. м}^3/\text{сут}$), большой эффективной ёмкостью за счёт трещин и каверн, и выдержанной толщиной в разрезе.

В данной статье изложены результаты исследований фильтрационно-емкостных свойств, трещиноватости и геометрии пустотного пространства низкоёмких доломитов Юрубчено-Тохомского месторождения.

№ скв.	Юр-4			Юр-3			Юр-2			Юр-1		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Юр-8				206 1-11	209 1,5-6	0,7-4						
Юр-14	153,2 0,3-1,5	150 0,57-1,2										
Юр-18					21,3 0,7-3,3	5,3 0,6-0,9						
Юр-19								4	25			
Юр-21											Притоков нет	9,4
Юр-23								Притоков нет				
Юр-25				302 1,2-13,5	211 1,5-3,1	19,6 1,5-1,8						
Юр-28				151,1 0,7-2,3	19,1 0,9-1,5	81,6 0,7-1						
Юр-30				137	191	1,7						
Юр-32				40 0,5-1,15	11,3 0,6-4,17							
Юр-33				237,8 0,5-5,4	6,7 0,6-2	12,5 0,5-0,9						
Юр-34					19,2 0,6-1,2	3 0,4-0,6		Притоков нет				
Юр-35											Притоков нет	6,7
Юр-36											Притоков нет	8,5
Юр-43				62,8 0,5-2,2	17,3 0,7-2	30 0,5-2						
Юр-46				77,5 0,5-11	39 0,3-1							
Юр-49	91,1 1,32											
Юр-50				230 1,3-2,5	310 1,2-1,7	51,2						
Юр-57	11,4 0,6-1,1	145 0,5-2,17										
Юр-63								Притоков нет		48,2		
Юр-65											Притоков нет	
Юр-66											Притоков нет	

1 – Притоки газа, тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$; 2 – Притоки нефти, $\text{м}^3/\text{сут}$; 3 – Притоки воды, $\text{м}^3/\text{сут}$
 Пределы эффективной ёмкости, % ; Пределы эффективной ёмкости, % ; Пределы ёмкости, %

Табл. 1. Изменение продуктивности и эффективной ёмкости рифейских отложений в скважинах Юрубчено-Тохомского месторождения (жёлтое – притоки газа; зелёное – притоки нефти; голубое – притоки воды).

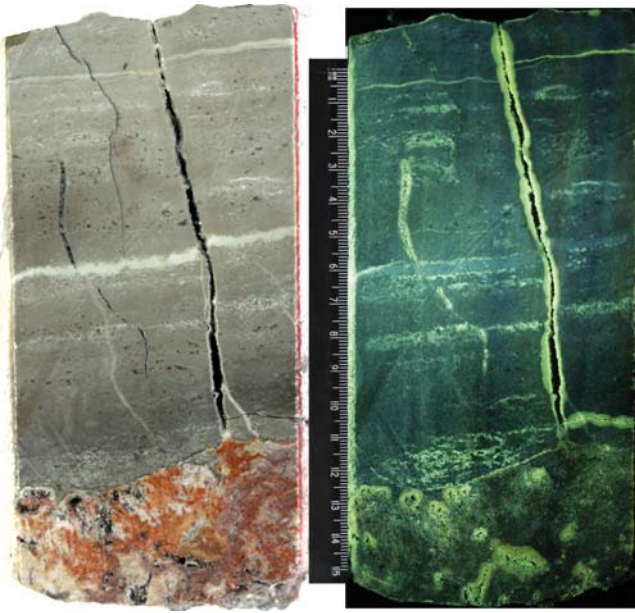


Рис. 3. Изучение текстурно-структурных особенностей пород и трещиноватости на полноразмерном керне. Юрубчено-Тохомское месторождение, скв. № 120, образец № 101, глубина 2422,9 м.

Трещиноватость рифейских отложений Юрубчено-Тохомского месторождения развита интенсивно, но весьма неодинакова по разрезу. Трещины имеют различную морфологию, ориентировку, протяженность и раскрытость. Для исследования трещиноватости был применён метод капиллярной дефектоскопии (Багринцева и др., 2013), который позволяет определить геометрию пустотного пространства и дифференцировать открытые и минерализованные трещины. Фотографирование керна в дневном свете до насыщения люминисцирующими жидкостями (пенетрантами) выявляет текстурно-структурные особенности пород и помогает определить условия осадконакопления. Однако по данным фотоснимкам невозможно оценить степень заполненности трещин и пустот и определить влияние трещин на фильтрационные характеристики породы (Рис. 3).

На следующем этапе из полноразмерного керна изготавливаются образцы кубической формы, которые исследуются методом капиллярного насыщения пенетрантами и после их фотографирования в источнике ультрафиолетового света появляется возможность получить качественную и количественную характеристику трещин. Полученные фотоснимки позволяют увидеть морфологию трещин, выявить сложное строение пустот и оценить значимость

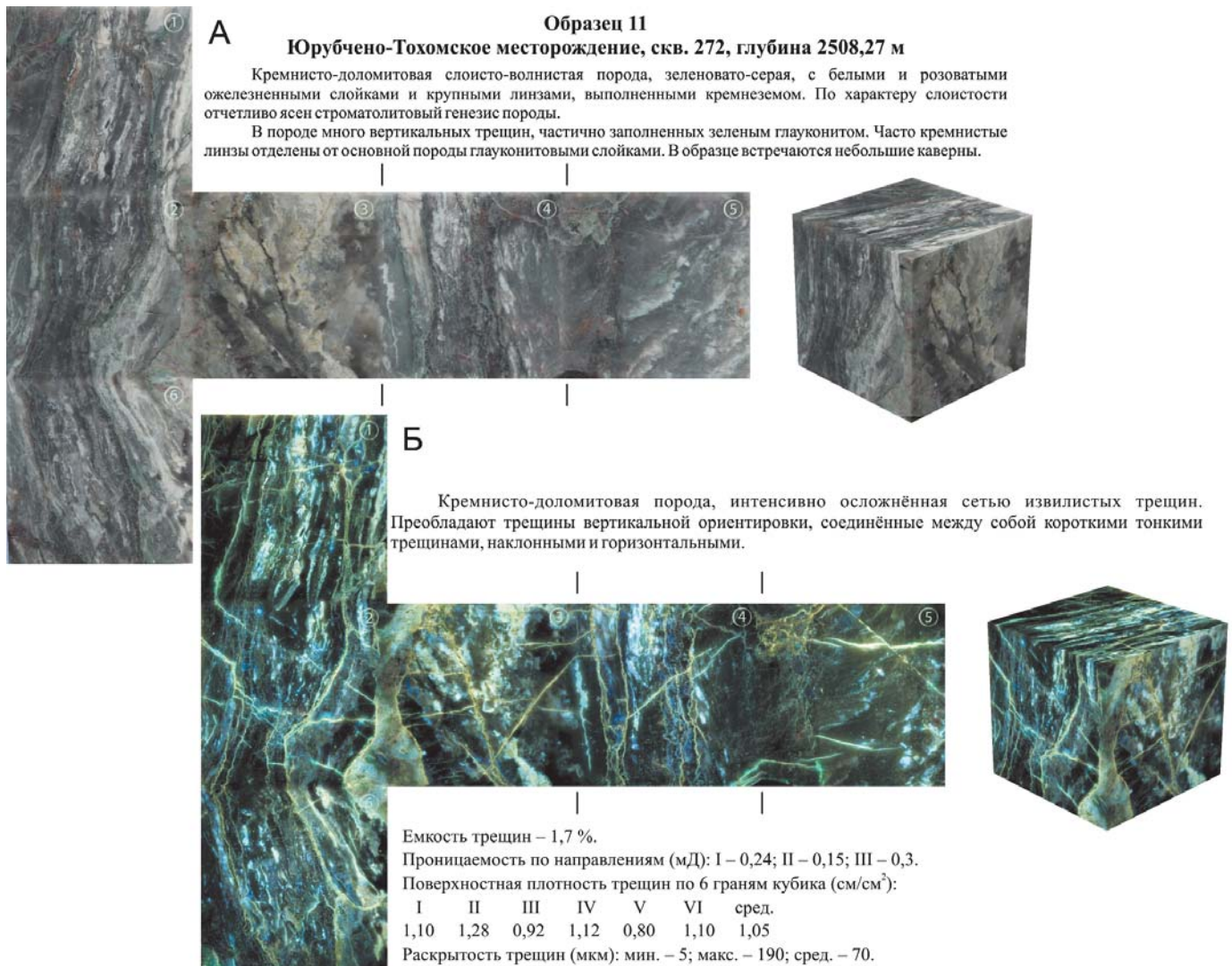


Рис. 4. Развитие сложной системы микротрещиноватости (до (А) и после (Б) насыщения пенетрантом), обеспечивающей подпитку основных фильтрующих трещин. Юрубчено-Тохомское месторождение, скв. № 272, образец № 11, глубина 2508,27 м.

каверн и трещин в ёмкости и фильтрации.

Роль трещин в формировании фильтрационно-емкостных свойств коллекторов рифейский отложений Юрубчено-Тохомского месторождения переоценить сложно, поскольку именно они являются проводящими каналами для миграции минерализованных растворов, способствующих выщелачиванию пород, и играют основную роль при фильтрации углеводородов. Следует подчеркнуть, что открытые микротрещины, широко развитые в продуктивной толще рифея, своим возникновением обязаны тектоническим процессам, но морфология, раскрытость и протяженность их обусловлены литогенетическими особенностями образования пород и дальнейшим движением по ним подземных вод.

Детальные исследования характера трещиноватости позволили сделать вывод, что породы рифея макро- и микротрещиноваты. Преобладают разноориентированные трещины, часто образующие сложную систему, которая и обеспечивает высокие фильтрационные характеристики пород-коллекторов. Вдоль трещин отмечены многочисленные пустоты выщелачивания. Протяженные секущие трещины осложнены короткими и тонкими, за счёт чего обеспечивается их взаимосвязь.

Вертикальные трещины, как правило, прямые, горизонтальные секущие слабоизвилистые, оперённые короткими. Именно протяженные вертикальные и горизонтальные трещины обеспечивают высокую фильтрацию флюидов (проницаемостью более 1 Дарси) и соединяют кавернозные прослои (пористость до 10-15 %) и редкие крупные каверны объёмом 10-20 см³ (общая эффективная ёмкость 2-3 %).

Отличительной особенностью трещин в рифейских отложениях Юрубчено-Тохомского месторождения является значительное удаление их друг от друга, т.е. широкий «шаг» – расстояние между ними составляет 3-5 см, иног-

да более. Удаленность трещин друг от друга определяет сложность их выявления и определения фильтрационно-емкостных свойств стандартными методами, именно поэтому применяется метод капиллярной дефектоскопии, основанный на 5 см образцах кубической формы (Багринцева и др., 2013).

При обработке фотографий кубиков, насыщенных пенетрантом, оцениваются количественные параметры трещин (Табл. 2): раскрытость, поверхностная плотность, морфология и генезис пустот. Сравнение фотографий, полученных в дневном и ультрафиолетовом свете до и после насыщения образцов пенетрантом, позволяет дифференцировать открытые фильтрующие трещины и минерализованные – заполненные гидроокислами железа красного и бурого цвета, зеленым или коричневым веществом – при глинизации, а также темными, черными тонами при их насыщении органическим веществом. В отдельных интервалах разреза преобладающее развитие имеют плотные разности почти без трещин, в других выявлена система взаимосвязанных трещин различной ориентировки и степени раскрытости.

Сравнение фотоснимков и их информативность показана на примере нескольких образцов доломитов. Изучение образца № 11 (скв. № 272 ЮТМ) до насыщения пенетрантом показало, что порода волнистослоистая, кремнисто-доломитовая (Рис. 4А), в ней наблюдается четкое чередование различно окрашенных кремнистых слоев. Порода крайне неоднородна по составу и степени вторичной преобразованности. Выделяется большое число трещин различной длины, морфологии и раскрытости.

После насыщения образца пенетрантом на фотоснимке, сделанном в источнике ультрафиолетового света, выявлено интенсивное развитие трещин различной геометрии (Рис. 4Б). Трещины длинные секущие вертикальной и наклонной ориентировки, располагаются на расстоянии

№ обр.	№ скв.	Глубина, м	Ёмкость трещин, %	Проницаемость по направлениям, мД			Поверхностная плотность трещин по граням, см/см ²							Раскрытость трещин (мкм)		
				I	II	III	I	II	III	IV	V	VI	Сред.	мин.	макс.	сред.
8827	21	2343,3	2,1	1,17	1,28	1,26	0,29	1,12	1,16	1,64	1,44	0,57	1,04	<5	40	7
8107	28	2482,4	2,3	1,9	0,6	16,1	0,6	0,38	0,88	0,4	0,84	0,26	0,56	7	70	21
8669	44	2232,5	1,5	4,8	0,38	0,03	0,56	0,64	0,09	0,4	0,32	0,56	0,43	7	50	14
8788	106	2490,0	1,8	8,65	7,86	3,67	0,24	0,56	0,02	0,24	0	0,16	0,3	<5	150	50
1016	120	2422,96	2,9	171,1	227,2	0,03	0,56	0,22	0,45	0,44	0,19	0,05	0,32	<5	470	207
102a	120	2426,05	4,3	362,7	431,6	289,9	0,28	0,24	0,18	0,26	0,23	0,16	0,23	7	420	250
103	120	2426,88	1,9	760,2	800,2	0,03	0,54	0,38	0,04	0,36	0,11	0,32	0,29	<5	430	295
108	120	2454,9	2,1	204,1	409,2	0,04	0,23	0,74	0,33	0,65	0,08	0,49	0,42	<5	360	183
3	198	2775,25	2,5	0,089	0,13	0,98	0,62	1,51	1,23	0,67	1,20	1,65	1,15	5	107	40
5	198	2776,25	2,6	0,18	0,45	0,69	1,10	0,99	1,30	0,97	0,70	1,23	1,05	5	120	70
10	272	2486,25	3,1	18,81	19,2	2,65	0,32	0,46	0,14	0,74	0,15	0,4	0,38	5	210	100
11	272	2508,27	1,7	0,24	0,15	0,3	1,10	1,28	0,92	1,12	0,8	1,1	1,05	5	190	70
12	272	2508,82	2,5	66,78	61,34	173,5	0,78	0,86	0,78	0,44	0,89	0,76	0,75	5	250	125
16	272	2558,87	4,1	8,2	11,1	0,13	0,6	0,4	0,48	0,56	0,26	0,55	0,46	6	130	75
18	272	2575,94	2,5	12,8	1,6	9,5	1,36	1,31	1,28	0,96	1,4	1,1	1,2	5	100	70

Табл. 2. Характеристика трещиноватости доломитов юрубченской толщи.

1-2 см друг от друга, они осложнены редкими слабоизвилистыми короткими трещинками горизонтальной ориентировки. Столь сложная система обеспечивает эффективную ёмкость – 1,7 % и практически одинаковую проницаемость во всех направлениях, однако из-за небольшой раскрытости трещин она не превышает 0,3 мД.

Совершенно иной тип коллектора – каверново-трещинный (Рис. 5А) выявлен в образце № 102а (скв. № 120 ЮТМ), который представлен волнисто-слоистым строматолитовым доломитом неоднородно окремнённым. На фотографии образца, насыщенного пенетрантом, отчётливо видны особенности строения и морфология пустотного пространства.

Выявлена система прямолинейных секущих трещин вертикальной и наклонной ориентировки большой раскрытости (до 420 мкм) и два уровня кавернозности, расположенных на расстоянии 3-4 см друг от друга и неравномерно распространённых по латерали (Рис. 5Б). Каверны в основном вытянутой формы размером до 0,5х3 см, частично, иногда полностью, выполнены вторичными минералами. Одновременное развитие секущих трещин большой раскрытости, соединяющих многочисленные каверны, определяет эффективную ёмкость

– 4,4 % и высокие фильтрационные свойства во всех направлениях до 460 мД и более.

Изучение структурных характеристик образцов рифейских доломитов юрубченской толщи проводилось методом *ртутной порометрии* с помощью ртутного поромера «Поромер-ПА-3М», диапазон давления нагнетания ртути при исследовании породы составляет от 0,01 до 1000 атм., что соответствует измерению поровых каналов диаметром от 0,01 до 100 мкм. Метод дает объемную характеристику геометрии пустот в породе. Порометрические кривые позволили оценить диапазон размеров пор, развитых в породе, процентное содержание пор каждого диаметра и определить содержание субкапиллярных пор диаметром менее 0,2 мкм. При этом важно учитывать связанность поровых каналов между собой, чтобы достоверно выделить группу пустот, определяющих фильтрацию.

Образцы для ртутной порометрии в виде цилиндров 1х3 см выбуривались непосредственно из кубиков после изучения трещиноватости методом капиллярной дефектоскопии. Результаты исследований приведены в виде порометрических кривых (Рис. 6) и сведены в таблицу 3.

Из полученных данных видно, что в низкоёмких доло-

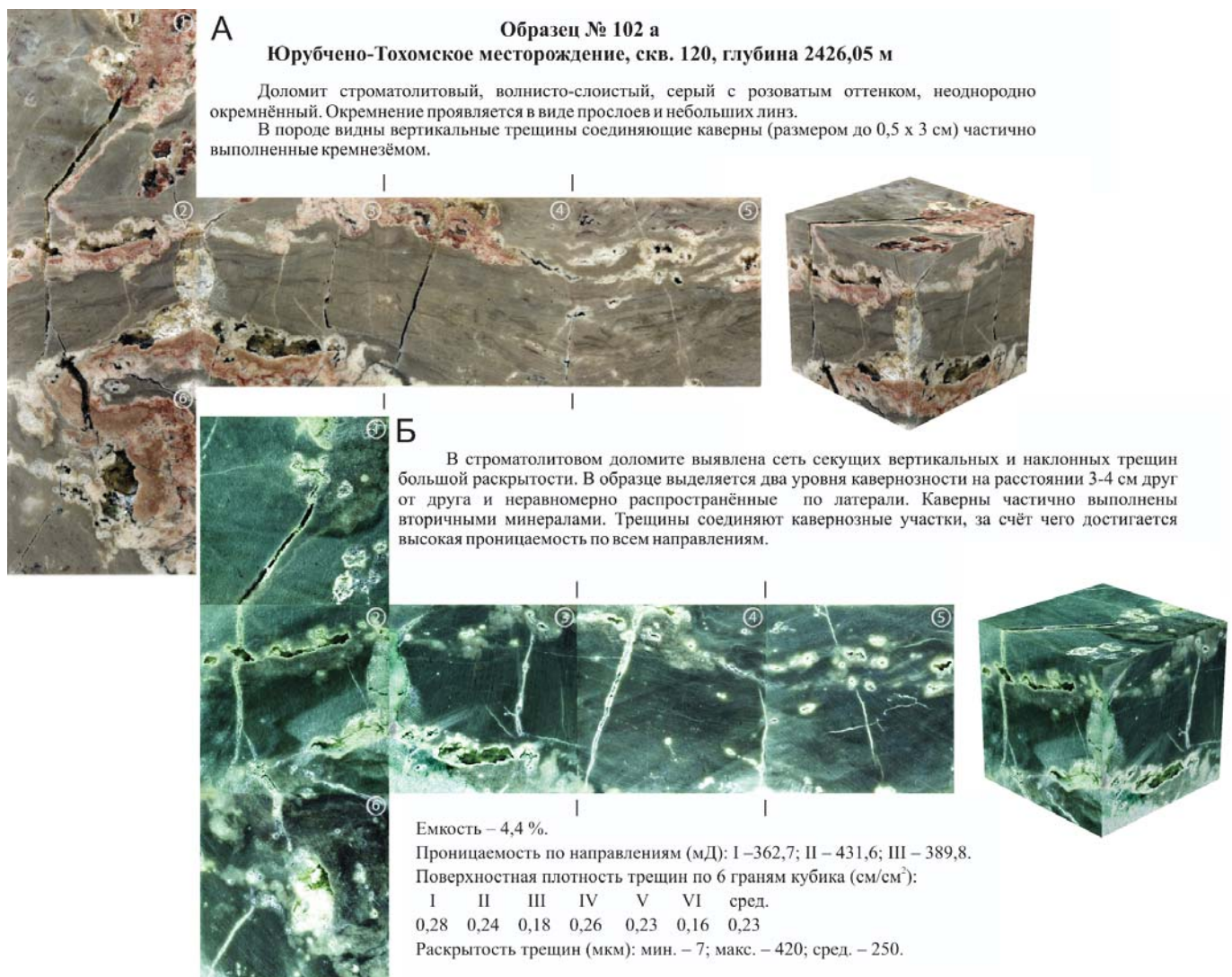
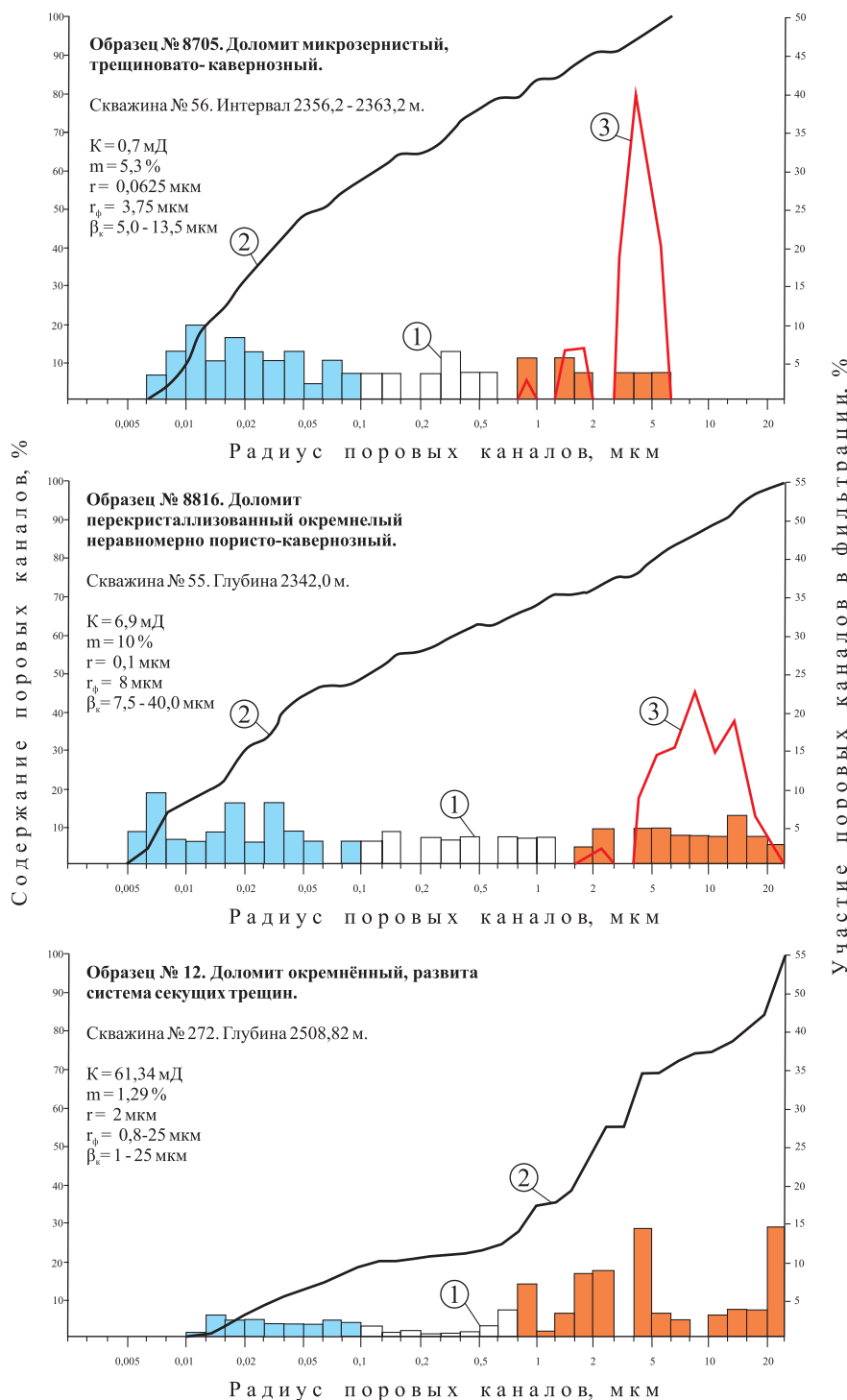


Рис. 5. Одновременное развитие секущих вертикальных трещин и открытых каверн, определяющих высокие фильтрационно-ёмкостные свойства пород (до (А) и после (Б) насыщения пенетрантом). Юрубчено-Тохомское месторождение, скв. № 120, образец № 102а, глубина 2426,05 м.

митах преобладают системы взаимопересекающихся микротрещин раскрытостью 40–64 мкм и небольшим количеством субкапиллярных пор диаметром менее 0,2 мкм, содержание которых редко превышает 15–20 %. В плотных разностях содержание субкапиллярных пор может достигать 75 %.

В качестве примера различного строения порового пространства рифейских доломитов приведены порометрические кривые, характеризующие различные типы коллекторов (Рис. 6).



Условные обозначения: 1 - гистограмма распределения поровых каналов, %, 2 - куммулятивная кривая, 3 - кривая долевого участия трещин и каверн в фильтрации, K - абсолютная газопроницаемость, m - ёмкость пустот, r - средний радиус всей совокупности пустот, r_0 - средний радиус фильтрующих каналов, β_k - раскрытость каверн
□ - пустотное пространство: ■ - субкапиллярные поры; ■ - каверны и трещины определяющие фильтрацию.

Рис. 6. Структура пустотного пространства доломитов юрубченской толщи.

Наиболее сложным строением пустотного пространства характеризуются кавернозно-трещиноватые доломиты (образец № 8705). Каверны вторичные, округлой формы, они образовались за счёт выщелачивания и расширения полостей трещин. Наличие большого количества пор радиусом более 0,1 мкм позволило построить на гистограммах кривые долевого участия пор в фильтрации и оценить средний радиус фильтрующих пор. Видно, что фильтрация осуществляется в основном по пустотам, радиусом более 1 мкм, и кавернам, разнообразной формы размером 5–40 мкм и более.

В сильно кавернозных разностях за счёт интенсивного выщелачивания образуются каверны, и фильтрация протекает по этим пористым участкам, как в образце 8816, где ёмкость достигает 10 %. Средний радиус всей совокупности пор равен 0,1 мкм, а средний радиус пор, участвующих в фильтрации достигает 8 мкм, содержание таких пор в породе более 24 %. Эти породы за счёт интенсивного развития хорошо взаимосвязанных каверн аналогичны пористым разностям. При интерпретации порометрических кривых очень важно учитывать строение пустотного пространства, которое выявляется при насыщении их пенетрантом, так как по величине ёмкости и проницаемости эти породы можно отнести к кавернозным коллекторам.

Принципиально иной характер порометрической кривой получен при изучении низкоёмких трещиноватых пород. Распределение поровых каналов (трещин) характеризуется прерывистостью, что обусловлено проникновением ртути в открытые трещины, развитые в тонкопоровой матрице. По расположению отдель-

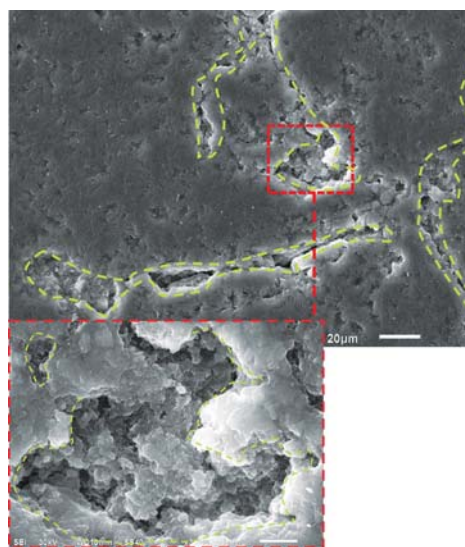


Рис. 7. Вновь образованная кавернозность за счёт неравномерного выщелачивания полостей трещин. Юрубчено-Тохомское месторождение, скв. № 272, обр. № 16, глубина 2558,9 м.

ных столбиков на гистограмме можно получить оценку раскрытости микротрещин от 1 до 40 мкм. Истинная раскрытость трещин, полученная для образца № 12, составляет до 125 мкм, она обеспечивает высокую проницаемость по трём направлениям – 173 мД и более, а эффективная ёмкость трещин достигает 2,5 %, что было доказано при насыщении кубиков пенетрантом и получении фотоснимков в ультрафиолетовом свете.

Таким образом, изучение снятых порометрических кривых рифейских доломитов позволяет сделать вывод об отсутствии в породах достаточного количества первичных пор, которые могут участвовать в фильтрации и обеспечивать полезную ёмкость. Характерный вид порограмм указывает на наличие вторичных пустот расширения полостей трещин и развитие каверн (Рис. 7). Именно они определяют структуру и морфологию пустотного пространства, ёмкость и фильтрационные свойства низкоёмких рифейских доломитов.

Большой объём разносторонних исследований ядра позволил построить *литолого-физические разрезы* по скважинам и проследить изменчивость параметров: ёмкость, проницаемость и дебит углеводородов на различных глубинах и по площади природного резервуара Юрубчено-Тохомского месторождения. Именно на этом основании появилась возможность оценить коллекторский потенциал рифейских отложений и обосновать наибольшую промышленную продуктивность нижнеюрбченской толщи Юр₃.

В пределах месторождения проведено сопоставление изменчивости ряда параметров, и построены разрезы, на которых нанесена информация, позволяющая представить процесс формирования продуктивной толщи рифея: отражена изменчивость литогенетических и текстурно-

структурных свойств пород, показаны вторичные преобразования – окремнение и выщелачивание, дана характеристика типов пустот и трещиноватости, установлена направленность изменения фильтрационно-ёмкостных параметров с глубиной и по площади месторождения. Важным моментом является анализ изменения мощности отдельных стратиграфических толщ отличающихся неодинаковой продуктивностью в виде различных дебитов нефти и газа (Рис. 8). В качестве примера рассмотрены изменения параметров по скв. 28 и скв. 25 (Рис. 9), в которых детально изучены продуктивные отложения юрубченской толщи – Юр₃.

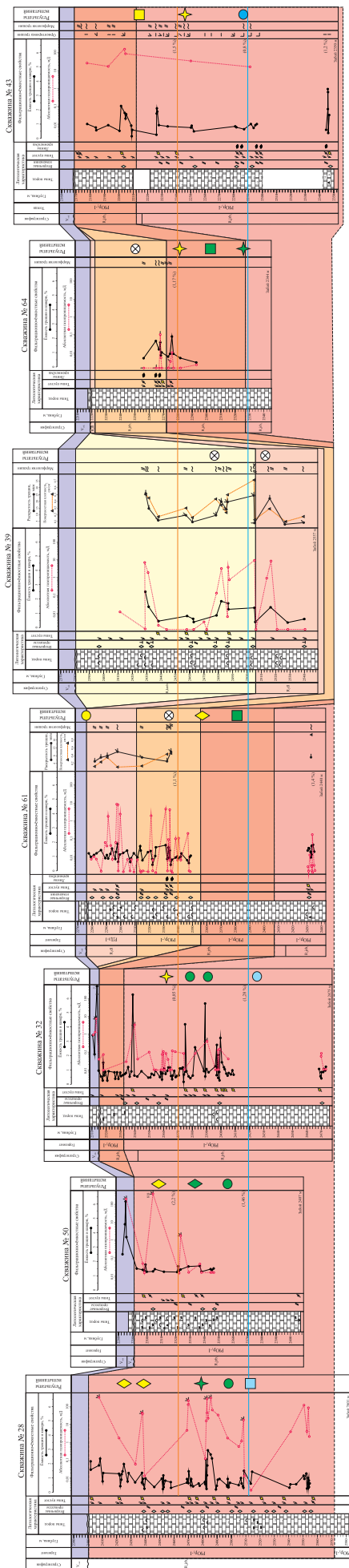
Скважина № 28 вскрывает нижнеюрбченскую толщу рифея Юр₃ на глубине 2399 м и Юр₄ – 2570 м. Продуктивные отложения сложены строматолитовыми доломитами, в различной степени трещиноватыми и кавернозными. Большой процент ядра фиксируется в виде боя разного размера, причем это отмечается по всему разрезу.

На предвендскую эрозионную поверхность выходят доломиты светло-серые, трещиноватые, кавернозные. Трещины в основном вертикальные и наклонные, по стенкам каверн располагаются крупные кристаллы кальцита и коричневого доломита. Ёмкость высокая – от 1,4 до 2,6 %, проницаемость достигает 342,6 мД.

В интервале 2420-2460 м доломит темно-серый, строматолитовый, тонко-мелкозернистый, массивный, неравномерно окремненный, трещиноватый. Возможно на этой глубине развивались куполовидные строматолитовые постройки или иловые холмы. Трещины преимущественно вертикальные, их полости сильно выщелочены, местами с примазками черного битума. В разрезе встречаются редкие открытые каверны, диаметр которых не превышает

№ лаб.	№ скв.	Глубина, м	Ёмкость трещин и каверн, %		Газпроницаемость по трем направлениям, мД			Ртутная порометрия			Литологическая характеристика
			большой кубик	порометрия	I	II	III	Содержание пор (%) диаметром менее 0,2 мкм	Средний радиус пор, мкм	Диапазон трещин определяющих фильтрацию, мкм	
12	272	2508,82	2,51	1,29	66,78	61,34	173,5	18	2	0,8-25	Доломит окремнённый, развита система секущих трещин
16	272	2558,9	4,1	3,7	8,2	11,1	0,13	10	5	2-64	Доломит коричнево-красный, слоистый, со строматолитовой текстурой, сильно окремнённый.
18	272	2575,9	2,56	3,05	12,8	1,6	9,5	8	8	2,5-64	Доломитово-кремнистая брекчия с линзами кремнезёма
8669	44	2232,5	1,5	1,6	4,8	0,38	0,03	15	7	2,5-50	Доломит мелкозернистый, неравномерно окремнённый
8687	34	2400,1	1,7	1,7	0,001	2,72	3,23	5,4	1,5	1,5-20	Доломит микротонкослоистый, строматолитовый
8688	34	2411,3	1,2	1,4	0,001	0,23	0,6	6,3	2	2,5-16	Доломит строматолитовый, пятнисто-слоистый, неравномерно окремнённый
8812	30	2336,1	1,4	1,5	0,02	0,03	0,06	8	0,8	1,5-5	Доломит пятнистый, перекристаллизованный, неравномерно окремнённый.
8827	21	2343,3	2,1	2,3	1,17	1,28	1,26	8,5	4	1,5-40	Доломит розовато-серый пятнистый, окремнённый
8802	56	2356,8	1,6	2	0,01	0,02	0,01	11	5	1-20	Доломит перекристаллизованный, кремнистый. Кавернозный
8705	56	2356,2	5,3	6,2	<0,001	0,7	0,08	62,3	3,75	5-13,5	Доломит строматолитовый, перекристаллизованный, кавернозный
8816	55	2342,7	10	11	6,86	8,5	6,7	34,9	2,5	2-18	Доломит перекристаллизованный, сильно ожелезненный, кавернозный

Табл. 3. Структура порового пространства доломитов юрубченской толщи.



2 мм, стенки каверн инкрустированы кристаллами вторичного доломита, иногда встречаются кристаллики пирита размером не более 0,5 мм. Окремнение присутствует в виде волнисто-слоистых участков и линз, окаймлённых тонкими горизонтальными трещинами, выполненными серо-зеленым глинистым материалом.

За счёт выщелачивания полостей трещин ёмкость высокая – 2 % и более, а система разнонаправленных трещин обеспечивает фильтрацию до 42 мД. Отложения испытаны в двух интервалах, где были получены притоки газа – 151,1 тыс. и 104,3 тыс. м³/сут.

Ниже по разрезу доломиты реликтово-строматолитовые микрозернистые, пятнистые с включениями вторичного тонкозернистого доломита, слабо окремнённые, со следами ожелезнения, трещиноватые. В интервале 2483-2486 м преобладают секущие трещины различной ориентировки с полостями выщелачивания и мелкими кавернами. Наличие этих трещин обеспечивает высокие фильтрационные свойства пород, проницаемость меняется от 45 мД до 280 мД. Эффективная ёмкость трещин и каверн существенна – 3 %.

Следует отметить, что опробование проводилось в интервалах 2475-2482 м и 2495-2502 м, к сожалению в более плотных разностях, тем не менее из первого интервала был получен приток газа 27,5 тыс. м³/сут, конденсата 5,1 м³/сут и из второго – газа 6,9 тыс. м³/сут, нефти 19,1 м³/сут, воды 81,6 м³/сут. Относительно высокоёмкий интервал пород остался не испытан.

В нижней части разреза сохраняется высокая трещиноватость, ёмкость изменяется в пределах 0,5-1,5 %. В интервале 2510-2514 получен приток воды 100 м³/сут, поскольку испытания проводились на границе ВНК. На глубине 2525 м во время бурения отмечено поглощение бурового раствора.

Скважина № 25 вскрывает рифейские отложения в интервале 2270-2474 м, в стратиграфическом плане отложения представлены нижнеюрбученской толщей (Рис. 9) – Ю₃ (2270-2424 м) и Ю₄ (2420-2474 м).

Керном охарактеризована только свита Ю₃ выходящая на предвендскую эрозионную поверхность. Литологическое изучение показало, что в разрезе преобладают доломиты микрозернистые с остатками водорослей и доломитом водорослевым сгустково-комковатым. Сгустки и комки сложены кремнеземом и сцементированы тонко-мелкозернистым доломитом. Прослоями встречены доломиты оолитово-обломочные кремнистые, которые обогащены окатанными зёрнами кварца алевритовой размерности с небольшим количеством зёрен песчаной размерности.

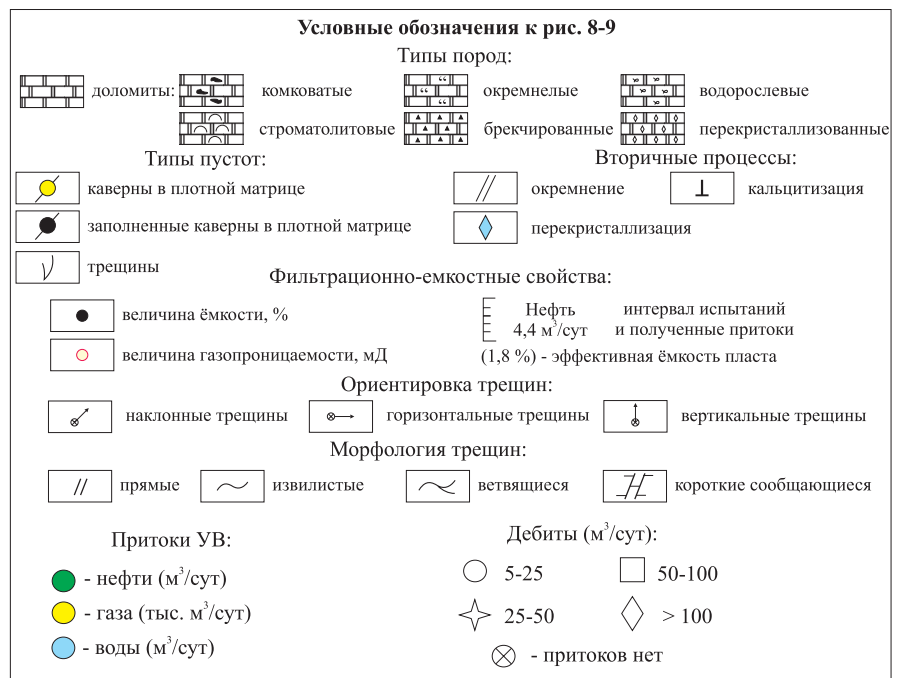
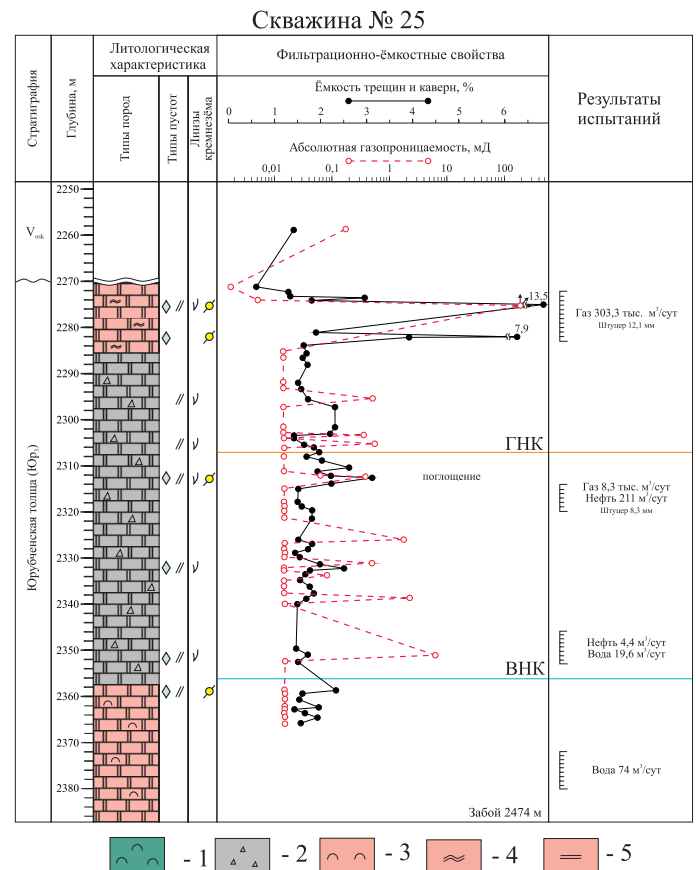
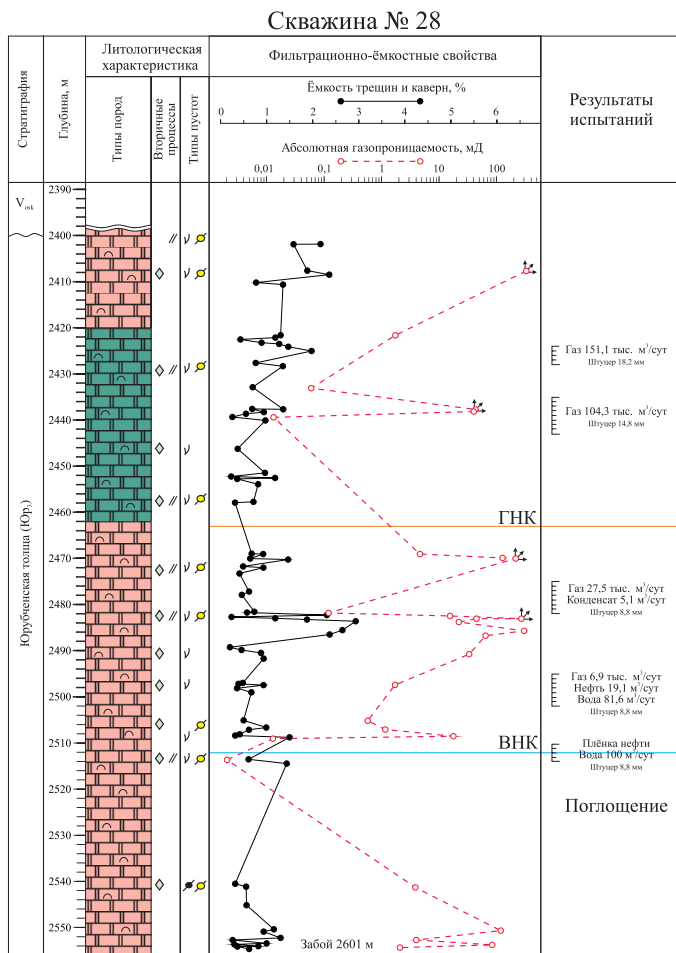


Рис. 8. Изменение состава и литолого-физических свойств продуктивной части рифейских отложений по линии скважин №№ 28-50-32-61-64-43.



1 - куполовидная строматолитовая постройка, 2 - обломочные кремнисто-карбонатные отложения, 3 - пластово-строматолитовые доломиты, 4 - волнисто-слоистые строматолитовые доломиты, 5 - горизонтально-слоистые-строматолитовые доломиты

1 - куполовидная строматолитовая постройка, 2 - обломочные кремнисто-карбонатные отложения, 3 - пластово-строматолитовые доломиты, 4 - волнисто-слоистые строматолитовые доломиты, 5 - горизонтально-слоистые-строматолитовые доломиты

Рис. 9. Изменение фильтрационно-ёмкостных свойств и продуктивности отложений в разрезах скважины 28 и скважины 25.

Разрез скважины отличается наличием в обеих разностях доломита большого количества кремнистого материала. Кремнезем развит в породе в рассеянном состоянии или в виде линзообразных включений микротонкозернистого кремнезема, имеющих неправильную или округлую форму. Процессы перекристаллизации и вторичного минерального заполнения также развиты в отложениях, но интенсивность их проявления в породах значительно меньше.

В результате вторичных процессов почти все первичные пустоты полностью заполнены мелко-средне-крупнозернистым доломитом. Лишь небольшими участками встречаются остаточные открытые пустоты. Тем не менее в разрезе присутствуют многочисленные интервалы так называемой «вновь образованной» кавернозности. Полости каверн инкрустированы крупными ромбоэдрическими кристаллами доломита. Нередко пространство между кристаллами доломита, выполняющими стенки каверн, заполнено черным ОВ.

Ёмкость и проницаемость с глубиной сильно меняются, особенно неоднозначны величины проницаемости, что связано с трещиноватостью. Развитие системы трещин в совокупности с кавернами обеспечивает высокие фильтрационно-ёмкостные свойства резервуара. Проницаемость – 100 мД и более, ёмкость – от 1,5 % до 13,5 % за счёт каверн, что подтверждается большими притоками газа в интервале 2272-2283 м – 303,3 тыс. м³/сут.

В продуктивной части разреза Юр₃ проведено два испытания. Первое, на границе ГНК в интервале 2314-2320 м, где по экспериментальным данным эффективная ёмкость изменяется от 1 до 4 %, получен приток газа 8,3 тыс. м³/сут и нефти 211 м³/сут. Второе испытание проводилось в интервале 2346-2353 м, всего на 2 м выше ВНК, в результате чего получен приток воды 19,6 м³/сут и небольшой приток нефти 4,4 м³/сут.

С глубины 2357,7 м в разрезе преобладают доломиты мелко-среднекристаллические, сильно окремненные, пластово-строматолитовые. В породе наблюдается система извилистых микротрещин, на пересечении которых развиты пустоты выщелачивания. Трещины частично выполнены органическим веществом. В интервале 2372-2380 м, расположенном ниже уровня ВНК, получен приток воды 74 м³/сут.

Матрица пород плотная непроницаемая, однако, за счёт тектонической трещиноватости и вторичных процессов резервуар представлен трещинным коллектором с полостями выщелачивания. Прослои кавернозных пород выделяются как каверново-трещинный тип коллектора.

В целом рифейские отложения в скважине № 25 сильно трещиноваты, трещины вертикальные, горизонтальные и наклонные развиты по всему разрезу. Ёмкость пород изменяется от 0,6 % до 1,8 %, лишь в кавернозных разностях возрастает до 13,5 %.

Выводы

1. Исследование керна методом капиллярной дефектоскопии дало возможность выявить характер трещиноватости, изучить геометрию пустотного пространства, определить ориентированную газопроницаемость в трёх направлениях и дифференцировать эффективную ёмкость, приуроченную к кавернам и трещинам.

2. Комплексное изучение рифейских отложений показало, что совокупное влияние вторичных процессов: трещинообразования, выщелачивания, перекристаллизации и окремнения, обусловили развитие сложного пустотного пространства в строматолитовых доломитах рифея.

3. Исследование матрицы и структуры пустотного пространства методом ртутной порометрии и электронной микроскопии (РЭМ) дали возможность оценить кристаллическое строение породы, морфологию пустотного пространства и долевое участие пор в фильтрации. При значительных увеличениях в 100 и более раз на РЭМ не выявлено пористых участков или наличия отдельных пор, обеспечивающих проницаемость и создающих эффективную ёмкость. Данный вывод подтверждают порометрические кривые, которые имеют прерывистый характер и указывают на трещинный тип коллектора.

4. Проведённые исследования позволили установить, что свита ЮР₃ выдержана по площади месторождения, характеризуется высокой степенью трещиноватости, обладает высокими фильтрационно-ёмкостными свойствами и про-

дуктивна на углеводороды во всех скважинах, т.е. наиболее перспективна на Юрубчено-Тохомском месторождении.

Литература

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.

Конторович А.Э., Изосимова А.Н., Конторович А.А., Хабаров Е.М., Тимошина И.Д. Геологическое строение и условия формирования гигантской Юрубчено-Тохомской зоны нефтегазоаккумуляции в верхнем протерозое Сибирской платформы. *Геология и геофизика*. 1996. Т. 37. № 8. С. 166-195.

Трофимук А.А. Куюмбо-Юрубчено-Тайгинское газонефтяное месторождение – супергигант Красноярского края. Основы технико-экономического обоснования разработки. Новосибирск. 1992. 60 с.

Харахинов В.В., Шленкин С.И., Зеренинов В.А., Рябченко В.Н., Зошенко Н.А. Нефтегазоносность докембрийских толщ Куюмбинско-Юрубчено-Тохомского ареала нефтегазоаккумуляции. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*. 2011. Т. 6. № 1. С. 1-31.

Сведения об авторе

Роман Сергеевич Сауткин – научный сотрудник кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых, Геологический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

119234, г. Москва, Ленинские горы, д.1

e-mail: romsau@yandex.ru

Reservoir Properties and Productivity of Riphean Deposits in Yurubcheno-Tokhomsky Field

R.S. Sautkin

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
e-mail: romsau@yandex.ru

Abstract. The article is devoted to study of Riphean low capacity natural reservoir of Yurubcheno-Tokhomsky field. The features are considered of structure and formation of voids affecting reservoir properties of complex reservoir. In this paper the method is applied of capillary saturation of rocks by luminescent substances (penetrants). It is based on the capillary penetration of penetrants into the smallest open voids of cube-shaped samples (5x5 cm). When viewing saturated sample under ultraviolet light source, as well as studying by mercury injection and scanning electron microscope, the morphology of void space is identified: voids geometry (cracks and cavities), surface density of cracks, their extent and opening. Effective capacity is determined separately by method of Preobrazhensky with compulsory capillary feeding. Productivity of Riphean deposits is estimated and lithological and physical section is constructed, proving the greatest prospects of lower yurubchensian Riphean strata.

Keywords: Riphean, low capacity reservoir, fracturing, penetrant inspection.

References

Bagrintseva K.I., Sautkin R.S., Shershukov G.I. Application of the liquid penetration test in petroleum geology to isolate and

evaluate fracturing in rocks. *MEGATECH. Novye tekhnologii v promyshlennoy diagnostike i bezopasnosti* [MEGATECH. New technologies in industrial testing and security]. 2013. № 4. Pp. 24-32. (In Russian)

Kontorovich A.E., Izosimova A.N., Kontorovich A.A., Khabarov E.M., Timoshina I.D. Geological structure and conditions of formation of Yurubcheno-Tokhomsky oil and gas accumulation zone in the upper Proterozoic of Siberian platform. *Geologiya i geofizika* [Geology and Geophysics]. 1996. V. 37. № 8. Pp. 166-195. (In Russian)

Trofimuk A.A. Kuyumbo-Yurubcheno-Tayginskoe gazoneftyanoe mestorozhdenie – supergigant Krasnoyarskogo kraya. *Osnovy tekhniko-ekonomicheskogo obosnovaniya razrabotki* [Kuyumba-Yurubcheno-Taiga oil and gas field – supergiant of the Krasnoyarsk Territory. Fundamentals of development feasibility study]. Novosibirsk. 1992. 60 p. (In Russian)

Kharakhinov V.V., Shlenkin S.I., Zereninov V.A., Ryabchenko V.N., Zoschenko N.A. Oil and gas potential of Precambrian strata of the Kuyumbinsko-Yurubcheno-Tokhomsky area of oil and gas accumulation. *Neftgazovaya geologiya. Teoriya i praktika* [Petroleum geology. Theory and practice]. 2011. V. 6. № 1. Pp. 1-31. (In Russian)

Information about author

Roman S. Sautkin – Scientific Researcher of the Petroleum Geology Department, Geological Faculty, Lomonosov Moscow State University

119234, Russia, Moscow, Leninskie gory, 1

e-mail: romsau@yandex.ru