



УДК 553.98

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И СВОЙСТВА КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ РИФЕЯ ЮРУБЧЕНО-ТОХОМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

К.И.Багрянцева (ФГУП "Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт"),
Н.Б.Красильникова (ОАО "РН "Красноярск-НИПИнефть"), **Р.С.Сауткин** (ФГУП "Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт")

Статья посвящена изучению коллекторских свойств низкоемких карбонатных отложений рифея Юрубчено-Тохомского месторождения. Выявлено несколько типов трещиноватости, даны фильтрационно-емкостные свойства, описаны постседиментационные процессы, играющие решающую роль в образовании древнейших резервуаров мира.

Ключевые слова: Юрубчено-Тохомское месторождение; карбонатные коллекторы; трещиноватость; фильтрационно-емкостные свойства; использованный метод оценки сложных коллекторов; новый метод.

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

Рифейские отложения Юрубчено-Тохомской зоны нефтегазонакопления вызывают большой интерес, так как к ним приурочены значительные запасы УВ. Впервые в мире из древнейших отложений рифея получены промышленные притоки нефти и газа в большом числе скважин. Несмотря на многочисленные исследования этого месторождения, до настоящего времени нет единого мнения об условиях формирования коллекторов и модели строения резервуара; также дискуссионным остается вопрос о типах коллекторов.

В данной статье изложены результаты исследований фильтрационно-емкостных свойств и трещиноватости низкоемких доломитов рифея Юрубчено-Тохомского месторождения, проведенных в лабораториях ФГУП "ВНИГНИ" и "Енисейнефтегазгеологии".

Основные оценочные параметры (емкость и проницаемость) долгое время определяли на стандартных образцах цилиндрической формы, которые не позволяли выявить сложное строение и геометрию пустотного пространства рифейских отложений. Авторами статьи проведены исследования по большому числу скважин на образцах кубической формы с гранью 5 см, что позволило получить характеристику ориентированной газопроницаемости пород по трем направлениям, оценить сложное строение пустотного пространства и выявить усло-

вия формирования коллекторов. Использование метода капиллярной дефектоскопии для низкоемких карбонатных пород дало возможность выявить развитие большого числа открытых трещин, наблюдать интенсивное выщелачивание полостей трещин, образование каверн, а также обосновать более достоверную оценку фильтрационно-емкостных свойств рифейских отложений [1, 2].

Методика исследований керна рифейской продуктивной толщи основана на:

изучении литологического состава, генезиса и вторичных изменений пород в шлифах большого размера (5×5 см), прокрашенных смолой;

исследовании структуры и геометрии пустотного пространства по данным ртутной порометрии и с использованием растрового электронного микроскопа (РЭМ); получении качественной и количественной характеристик трещиноватости методом капиллярного насыщения люминофором образцов кубической формы;

определении эффективной емкости и абсолютной газопроницаемости в трех направлениях.

Изучение керна проведено по большому числу скважин, что обеспечило достоверность определения оценочных параметров, позволило выявить условия формирования сложных типов коллекторов, а главное — обосновать закономерности изменения свойств по скважинам с глубиной и по площади резервуара.

Юрубчено-Тохомское месторождение имеет сложное блоковое строение рифейского комплекса, осложненного серией дизъюнктивных нарушений. Кровля рифея представляет размытую поверхность, которую не согласано перекрывают вендские отложения [3]. Проведенный анализ продуктивности скважин (табл. 1) позво-

Таблица 1
Изменение продуктивности и эффективной емкости рифейских отложений по скважинам Юрубчено-Тохомского месторождения

Номер скважины	Юр4				Юр3				Юр2				Юр1			
	Притоки				Притоки				Притоки				Притоки			
	газа, тыс. м ³ /сут	нефти, м ³ /сут	воды, м ³ /сут	газа, тыс. м ³ /сут	нефти, м ³ /сут	воды, м ³ /сут	газа, тыс. м ³ /сут	нефти, м ³ /сут	газа, тыс. м ³ /сут	нефти, м ³ /сут	воды, м ³ /сут	газа, тыс. м ³ /сут	нефти, м ³ /сут	воды, м ³ /сут	газа, тыс. м ³ /сут	нефти, м ³ /сут
	пределы эффективной емкости, %	пределы эффективной емкости, %	пределы емкости, %	пределы эффективной емкости, %	пределы эффективной емкости, %	пределы емкости, %	пределы эффективной емкости, %	пределы эффективной емкости, %	пределы эффективной емкости, %	пределы эффективной емкости, %	пределы емкости, %	пределы эффективной емкости, %	пределы эффективной емкости, %	пределы емкости, %	пределы эффективной емкости, %	пределы эффективной емкости, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13				
Юр-8				206,0 1,0-11,0	209,0 1,5-6,0	— 0,7-4,0										
Юр-14	153,2 0,3-1,5	150,0 0,57-1,20														
Юр-18					21,3 0,7-3,3	5,3 0,6-0,9										
Юр-19								4	25							
Юр-21																
Юр-23																
Юр-25				302,0 1,2-13,5	211,0 1,5-3,1	19,6 1,5-1,8									9,4	
Юр-28				151,1 0,7-2,3	19,1 0,9-1,5	81,6 0,7-1,0										
Юр-30				137,0	191,0	1,7										
Юр-32				40,0 0,50-1,15	11,3 0,60-4,17											
Юр-33				237,8 0,5-5,4	6,7 0,6-2,0	12,5 0,5-0,9										
Юр-34					19,2 0,6-1,2	3,0 0,4-0,6										
Юр-35																
Юр-36															6,7	
Юр-43				62,8 0,5-2,2	17,3 0,7-2,0	30,0 0,5-2,0										8,5

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Юр-46					77,5 0,5-11,0	39,0 0,3-1,0							
Юр-49		91,1 1,32											
Юр-50					230,0 1,3-2,5	310,0 1,2-1,7	51,2						
Юр-57		11,4 0,6-1,1	145,0 0,50-2,17										
Юр-63								48,2					
Юр-65													
Юр-66													

лил установить, что наиболее перспективным является горизонт Юр₃, который отличается высокими дебитами нефти (211-310 м³/сут) и газа (40-302 тыс. м³/сут), большой эффективной емкостью за счет трещин и каверн и выдержанной толщиной в разрезе большого числа скважин Юрубчено-Тохомского месторождения.

Юрубченская толща (Юр) представлена двумя подтолщами: нижняя — Юр₄, Юр₃ и верхняя — Юр₂, Юр₁; она сложена преимущественно доломитами, строматолитовыми, водорослевыми, узорчатой и слоистой текстуры, послойно неравномерно окремненными. С запада на восток увеличивается мощность толщи от 334 м (скв. Юр-25) до 515 м (скв. Юр-30).

Нижнеюрбченская подтолща объединяет горизонты Юр₄ и Юр₃. На западе месторождения отложения Юр₄ выходят на предвентскую эрозионную поверхность, постепенно погружаясь в восточном направлении до глубин более 3 км. Они вскрыты небольшим числом скважин, максимальная мощность в скв. Юр-69 (глубина 2495-2782 м) составляет 287 м. В нижней части разреза отмечено опесчанивание вплоть до перехода в песчаники. Песчаники серые, мелкозернистые, кварцевые, реже полимиктовые с доломитовым цементом. Выше по разрезу в основном распространены темноокрашенные доломиты из пластовых строматолитов с контрастной текстурой. Отмечаются прослои кремней до 10 см.

В скв. Юр-14 горизонт Юр₄ выходит на предвентскую эрозионную поверхность, в ее разрезе преобладают серые со слабым кремовым оттенком строматолитовые доломиты. Последние неравномерно пронизаны микрослойками, прожилками, гнездами и мелкими включениями светло-серого, белого, прозрачного вторичного крупнокристаллического доломита, иногда кремния, кварца и ангидрита. Все это придает доломитам узорчатый и полосчато-пятнистый облик.

Отложения Юр₃ распространены по всему месторождению на доступных для бурения глубинах, в западной части месторождения (скв. Юр-56, 8, 10, 12, 25, 28, 46, 50, 57) они выходят на предвентскую эрозионную поверхность, погружаясь в восточном направлении до глубины 2368-2580 м, где имеют максимальную мощность 212 м в скв. Юр-30. Во всех скважинах отложения горизонта Юр₃ продуктивны на нефть и газ.

Детальное изучение керна скв. Юр-272 показало, что в основании разреза преобладают доломиты реликтово строматолитовые сильноокремненные, мелкокристаллические. Окремнение неоднородное, встречаются многочисленные мелкие каверны. Выше по разрезу доломиты обломочные, брекчиевидные микрокристаллические, сильноокремненные, с интракластами и отдельными крупными линзами халцедона. Часть обломков сложена тонкослоистыми доломитами, в которых угадывается первичная строматолитовая текстура. Кристаллы доломита двух генераций: первичные микрокри-

сталлические и вторичные мелко-тонкокристаллические, заполняющие первичные пустоты в строматолитовом доломите в результате перекристаллизации пород. Присутствуют обломки массивных пород, полностью замещенные кремнеземом.

В интервале 2508-2558 м преобладают доломиты строматолитовые, с волнистой слоистостью. Слоистость представлена чередованием первичных микрокристаллических доломитов и вторичных кремнистых слоев толщиной 0,5-2,0 см, частично замещивших вторично доломитизированные прослои в породе. Присутствуют единичные крупные линзы (размером до 6 см), выполненные халцедоном, в которых развита сложная система взаимопересекающихся трещин различной морфологии и ориентировки, вдоль полостей трещин развиты щелевидные каверны.

Верхнеюрбченская подтолща выходит узкой полосой на предвентскую эрозионную поверхность, в скв. Юр-30 она вскрыта на полную мощность. Подтолща разделяется на две части — Юр₂ (глубина 2320-2368 м) и Юр₁ (глубина 2292-2320 м). Литологическое изучение показало, что породы сложены доломитами красно-коричневого и серого цветов, с остатками водорослей, строматолитов, брекчий, прослоями аргиллитов.

Горизонт Юр₂ в основании представлен аргиллитами красновато-коричневого цвета с пятнами и линзами зеленовато-серых разностей. Аргиллиты неравномерно доломитистые, тонкоплитчатые, мелкооскольчатые, слабоволнисто- и линзовидно-слоистые. Они являются надежным репером почти на всей территории месторождения, их мощность составляет 1,0-1,5 м. Остальная часть разреза сложена доломитами обломочными светло-серыми, пятнисто-розоватыми, окремненными. Преобладают в основном обломки строматолитовых, микрозернистых доломитов. Они плотно упакованы, некоторые сцементированы мелко-среднезернистым доломитом. Среди них встречаются глинистые прослои. Общая мощность отложений 33-62 м, увеличивается в восточном направлении.

В разрезе горизонта Юр₁ преобладают доломиты микрозернистые слабоглинистые светло-серые, пятнисто-розоватые, участками перекристаллизованные, чередующиеся с доломитами серыми, светло-серыми, различно слоистыми, с прослоями светло-розового среднезернистого строматолитового доломита, в которых присутствуют редкие каверны размером от 1,0-2,0 мм до 1,5-2,0 см. Каверны частично выполнены разнозернистым доломитом. Общая мощность отложений составляет 20-50 м.

Долгоктинская толща (Дол) вскрыта скважинами в восточной части Юрубчено-Тохомского месторождения, имеет преимущественно карбонатный состав и часто образует с вышележащей куюмбинской толщей единый массив. Породы представлены строматолитовыми

микроволнистослоистыми доломитами от светло-серого до темно-серого цвета. Мощность толщи изменяется от 53 м (скв. Юр-54) до 96 м (скв. Юр-100).

В скв. Юр-31 толща выходит на предвентскую эрозионную поверхность, сложена доломитом с прослоями аргиллитов. Доломит строматолитовый волнисто-слоистый, мелкокристаллический, участками переходящий в среднекристаллические разности, трещиноватый. Встречаются мелкие каверны, выполненные кристаллами доломита мелко-среднезернистого.

Куюмбинская толща (Кмб) представлена доломитами пластово-строматолитовыми в виде чередования различных по мощности пачек светло-серого, серого и темно-серого цветов. Доломиты микро-мелкокристаллические лапчатые, микроволнисто-слоистые, узорчатые. Толща в полном объеме вскрыта скв. Мдр-156 (глубина 2728-3202 м), мощность 474 м.

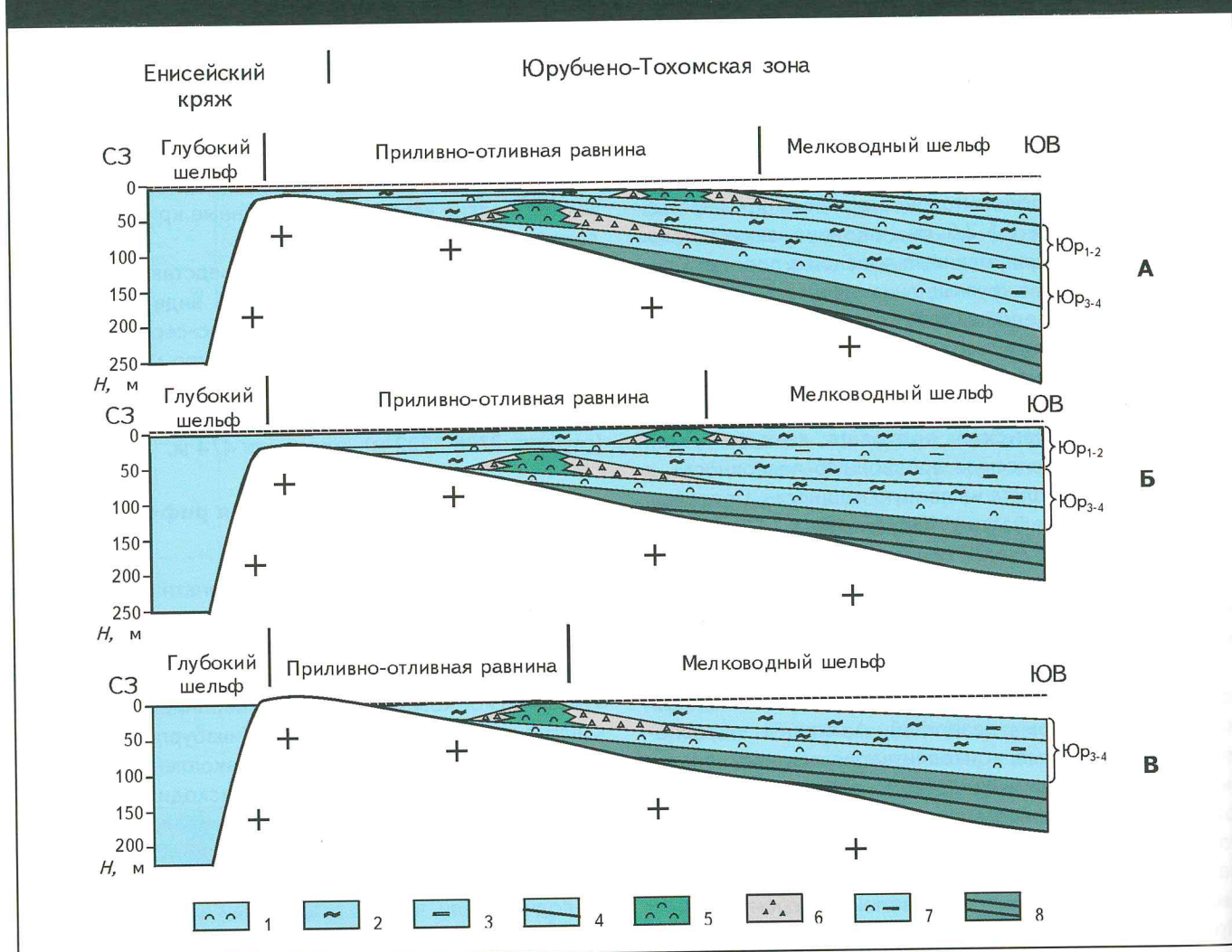
Условия осадконакопления рифейских отложений

В докембрийское время карбонатные постройки слагались в основном известковистыми водорослями (цианобактериальными сообществами) в форме мелких кустов, нитей или строматолитовыми пластинами, образующими комковатые или плосковолнистые слои, наcapливающие ил. По данным Р.Н.Гинзбурга и Дж.Л.Уилсона [4, 5] и Дж.Л.Уилсона [5], накопление синезеленых известковых водорослей происходило в приливных зонах, относительно мелководных отшнурованных бассейнов глубиной от 10 до 45 м.

В обобщающей работе Р.Н.Гинзбург и И.А.Врей [4] подчеркнули, что тип водорослей и характер их произрастания зависят от солености, температуры, гидродинамики вод и глубины бассейна. Они предложили схему, в которой рассмотрели различные обстановки обитания морских известковых водорослей и показали изменчивость морфологии.

Накопление рифейских отложений Юрубчено-Тохомской зоны происходило в теплом неглубоком морском бассейне, о чем свидетельствуют текстурно-структурные особенности синезеленых водорослевых, преимущественно строматолитовых пород доломитового состава [6]. Строматолиты — прикрепленные к субстрату карбонатные, реже кремнистые постройки, возникающие в результате жизнедеятельности синезеленых водорослей и бактерий. По мнению Т.А.Дольник [7], они повсеместно распространены в карбонатных толщах Сибирской платформы. Цианобактериальные сообщества в процессе жизнедеятельности усваивали растворенный в воде углекислый газ, что вело к повышению pH морской воды до 9, даже 11. Высокощелочная среда и предопределила доломитовый состав строматолитов, поскольку магниевые соединения осаждаются при pH выше 9.

Рис. 1. МОДЕЛЬ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ РИФЕЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮРУБЧЕНО-ТОХОМСКОЙ ЗОНЫ



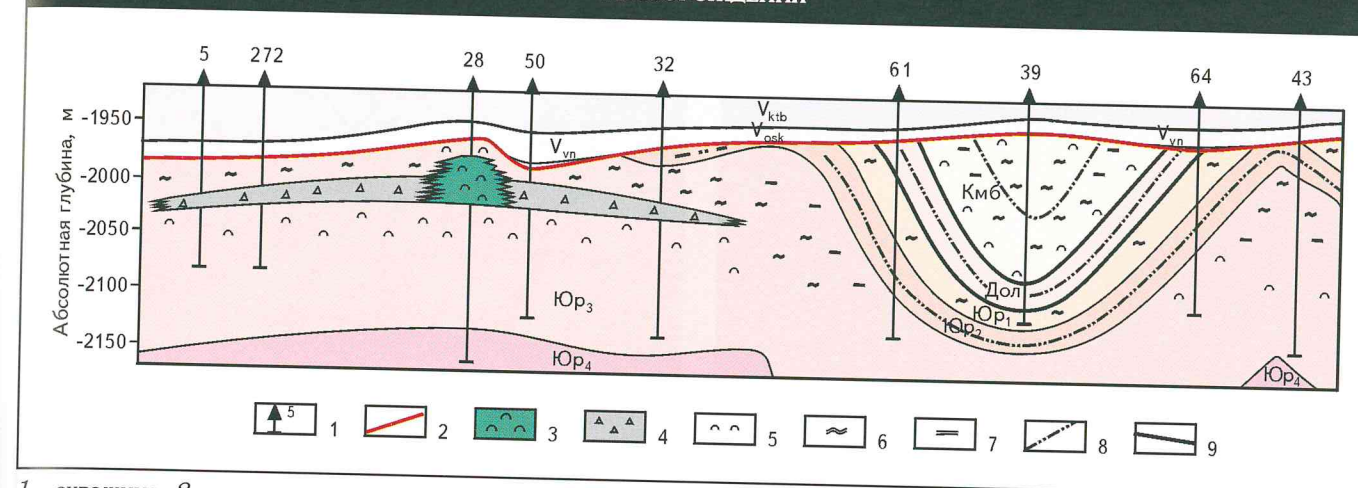
Время: А – долготинско-куюмбинское, Б – позднеюрубченское, В – раннеюрубченское; 1 – пластово-строматолитовые доломиты мелководного шельфа, образующиеся в неординарной гидродинамической обстановке; 2 – волнисто-слоистые строматолитовые доломиты мелководного шельфа и приливо-отливной равнины (ниже уровня отлива) с активной гидродинамической обстановкой; 3 – горизонтально-слоистые строматолитовые доломиты относительно погруженного мелководного шельфа, образующиеся в спокойной гидродинамической обстановке; 4 – глины и аргиллиты; 5 – куполовидные строматолитовые постройки приливо-отливной зоны; 6 – обломочные кремнисто-карбонатные отложения; 7 – глинистые строматолитовые доломиты мелководного шельфа, образующиеся в спокойной гидродинамической обстановке; 8 – глинисто-карбонатные породы вздрешевской и мадринской толщ (предполагаемые нефтематеринские толщи)

Особенности обстановок осадконакопления оказали очень большое влияние на сложное строение и морфологию пустот, образующихся в известковых водорослях. Дж. Уилсон [5] описывает войлоки синезеленых водорослей, которые образуют полуустойчивую открытую сетку, в нее проникают и задерживаются известковый ил и песчаные зерна. Слизистые выделения водорослей в сочетании с тонкими нитями действуют как строительные элементы. Внутренней известковой постройки у водорослей не наблюдается, однако сохраняется тонкая слоистость, отражающая периодическое накопление ила.

Модель осадконакопления рифейских отложений Юрубчено-Тохомской зоны отражает изменение гидродинамических условий седиментации и характер пространственного размещения различных литогенетических типов пород по разрезу и площади. Наиболее развиты строматолитовые доломиты разнообразных форм: пластовые, волнисто- и горизонтально-слоистые, куполовидные постройки и продукты их разрушения, обломки и доломито-кремнистые брекчии.

На представленной модели (рис. 1) выделены три принципиально различных по времени и генезису этапы

Рис. 2. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ЮРУБЧЕНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮРУБЧЕНО-ТОХОМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ



1 – скважина; 2 – предвендская эрозионная поверхность; 3 – куполовидные строматолитовые постройки; 4 – обломочные кремнисто-карбонатные отложения; доломиты: 5 – пластово-строматолитовые, 6 – волнисто-слоистые строматолитовые, 7 – горизонтально-слоистые строматолитовые; 8 – глинистые строматолитовые; 9 – глины и аргиллиты

формирования строматолитовых доломитов, подчеркнута возможность образования водорослевых построек, разрушение которых сопровождается накоплением обломочных кремнисто-карбонатных отложений. На заключительном этапе в долготинское и куюмбинское время в наиболее погруженных частях бассейна накапливаются глинистые строматолитовые доломиты, а также глины и аргиллиты. На модели показаны существенно различные породы по литологическому составу, накапливающиеся в приливо-отливной равнине и на мелководном шельфе.

В раннеюрубченское время в районе скв. Юр-28 можно предположить наличие небольшой иловой постройки (рис. 2) в отложениях Юр₃, сложенной доломитом строматолитовым тонко-микрозернистым с остатками водорослей, включениями крупнозернистого доломита и кремнезема. Породы сильно перекристаллизованы, присутствуют мелкие каверны, частично выполненные вторичными кристаллами доломита, сгустки сложены пелитоморфным и микрозернистым доломитом.

Иловые постройки характеризуются непостоянством размеров в диаметре и морфологически разделяются на симметричные в поперечном сечении, куполовидные или уплощенно-линзовидные образования. Вокруг иловых построек, которые подвергаются сильным волновым воздействиям и часто выходят на дневную поверхность, формируются обломочные строматолитовые кремнисто-доломитовые разности. Мощность их непостоянна, изменяется от 8-10 м в скв. Юр-56, 13, 272, до 15-20 м – скв. Юр-50, 30, 32 (см. рис. 2). Обломки неправильной формы имеют размер от 1,5 до 4,0 см и более, состоят из доломитов микрокристаллических

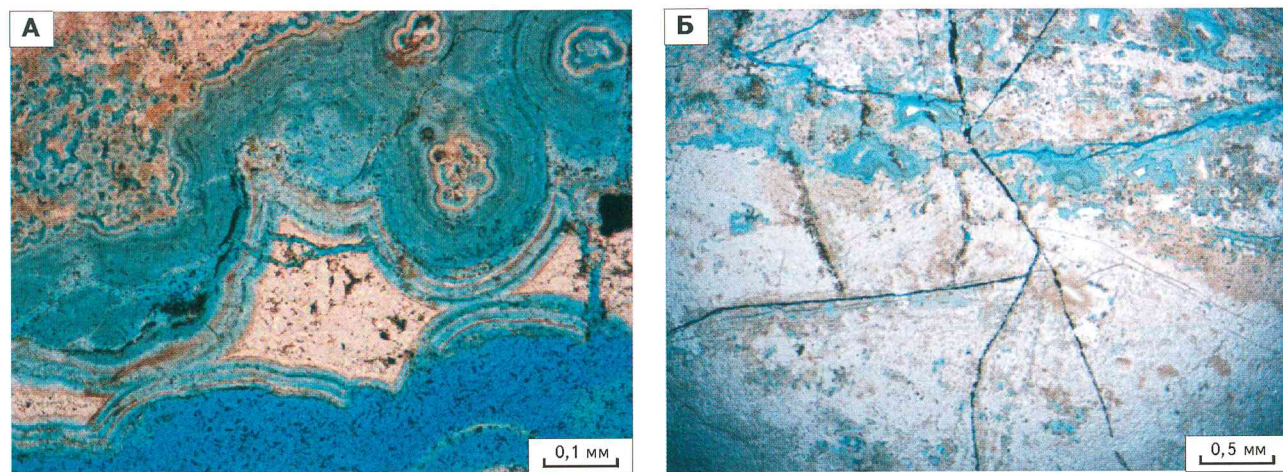
тонкослоистых, в которых угадывается первичная строматолитовая текстура, и интракластовых разностей, они нередко замещены кремнеземом. Вокруг обломков образуются извилистые тонкие трещины, заполненные темно-коричневым глинисто-битуминозным веществом.

В позднеюрубченское время в районе скв. Юр-32, 61, 64, 39, 43 наблюдается резкое изменение обстановки седиментации, происходит погружение бассейна осадконакопления в восточной части Юрубчено-Тохомского месторождения. В результате накапливаются слабуглинистые доломиты горизонта Юр₂ с прослоями аргиллитов красно-коричневого цвета.

Отложения горизонта Юр₁ отлагались в относительно мелководном бассейне с преобладанием непостоянных гидродинамических условий. Зона активной гидродинамики, вероятнее всего, развивалась вблизи береговой линии, что подтверждается периодическим появлением в разрезе пластово-строматолитовых доломитов. Также об этом свидетельствуют признаки, указывающие на неоднократный выход пород на дневную поверхность, – развитие многочисленных каверн и пустот, впоследствии залеченных вторичными минералами, что является свидетельством регрессивного изменения в карбонатных отложениях.

Роль постседиментационных процессов в формировании пустотного пространства рифейских доломитов. Седиментационная первичная неоднородность строения водорослевых и строматолитовых доломитов рифея предопределила направленность и интенсивность постседиментационных преобразований, что проявилось в изменчивости текстурно-структурных свойств и образовании большого числа литогенетических типов пород.

Рис. 3. ЗНАЧИТЕЛЬНАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ СТРОЕНИЯ И ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГЕОМЕТРИИ ПУСТОТНОГО ПРОСТРАНСТВА В ДОЛОМИТЕ СТРОМАТОЛИТОВОМ ОКРЕМНЕННОМ



А – заполнение каверны сферолитовыми агрегатами халцедона, Б – развитие пересекающихся микротрещин, частично заполненных кремнеземом (халцедоном) (Юрубчено-Тохомское месторождение, скв. Юр-272, шлиф 16, глубина 2558,87 м, николи I I)

Детальное исследование и анализ условий осадконакопления рифейских отложений показали, что в приливо-отливной зоне в водах с повышенным содержанием магния и неодинаковым придонно-иловым режимом формировались первичные строматолитовые доломиты. По мнению Дж.Уилсона [5], образование строматолитовых доломитов характеризуется незначительной первичной пористостью, плотной, практически непроницаемой матрицей, и сложной геометрией пустотного пространства. Первичные седиментационные особенности осадка, плотность упаковки, текстурно-структурные свойства, минеральный состав определяются природой осаждающегося материала и скоростью его литификации. Эти факторы играют решающую роль в формировании пустотного пространства сложных типов коллекторов.

Наиболее важным этапом в создании пустотного пространства рифейских отложений служат тектонические процессы, предпосылки к формированию трещиноватости закладываются в стадию седиментогенеза и зависят от пластичности пород. Химически более чистые карбонатные породы (более хрупкие) подвержены развитию трещиноватости, обилие глинистого материала делает породы пластичными и препятствует образованию трещин. Не менее важным свойством карбонатных пород, влияющим на формирование коллекторов, является их способность к растворению и последующему выносу материала (выщелачиванию) из плотной матрицы и полостей трещин.

Изучение постседиментационных преобразований рифейских отложений выявило значительную неоднородность и интенсивность проявления процессов трещинообразования, перекристаллизации, окремнения и

выщелачивания, наибольшее их влияние проявилось в горизонте Юр₃. В периоды неоднократных кратковременных осушений происходили процессы выщелачивания с образованием пустот и щелевидных каверн в строматолитовых доломитах. Частично они заполнялись крупнокристаллическим доломитом, кремнеземом и реже кварцем.

Наиболее интенсивно процессы карстования происходили во время предвендского размыва, что обеспечило образование карстовых полостей, встреченных в ряде скважин (Юр-8, 14, 25, 28, 44 и др.) в виде провалов и поглощения бурового раствора.

Комплексное исследование пород по разрезу скв. Юр-56, 8, 19, 21, 25, 28 и др. показало, что совокупное влияние постседиментационных преобразований обусловило сложное строение и морфологию пустот и закономерности изменения эффективной емкости и проницаемости в резервуаре.

Перекристаллизация широко распространена в породах юрубченской тощи, она происходила в результате неоднократного подъема отложений вверх и под влиянием активной циркуляции подземных вод. Развитию перекристаллизации способствует неодинаковая растворимость кристаллов различной размерности. Исследования [8] показали, что поровый раствор, насыщенный по отношению к средним зернам, будет недонасыщен по отношению к мелким и перенасыщен для крупных. Кроме того, в одной и той же породе мелкие зерна находятся под большим внутренним давлением, чем крупные.

Перекристаллизация происходит неравномерно и зависит от формы контактов кристаллов друг с другом.

В отложениях Юрубчено-Тохомского месторождения перекристаллизация выражается в укрупнении размеров кристаллов доломита, особенностью рифейских карбонатов является конформное расположение кристаллов, поэтому процессы перекристаллизации напрямую не влияют на изменение коллекторских свойств, в то же время развитие разнокристаллических участков в доломите увеличивает склонность к образованию трещин и каверн.

Выщелачивание в рифейских отложениях происходило на разных стадиях литогенеза. Самое раннее – в строматолитовых доломитах при обмелении морского бассейна, в результате чего образовались крупные каверны, сообщающиеся между собой. Каверны довольно быстро заполнялись яснокристаллическим доломитом, реже – кремнеземом. Следующая стадия образования пустот тесно связана с формированием в доломитах секущих трещин различной ориентировки, по которым мигрировали агрессивные растворы, насыщенные кремнеземом и углекислотой, способствующие растворению доломитов и частичной инкрустации стенок пустот кремнеземом. Формирование каверн различного генезиса и формы в значительной степени увеличивало полезную емкость изученных отложений рифея.

Окремнение – наиболее интересный и сложный процесс, протекавший в рифейских отложениях. Оно отмечено во всех типах доломитов, но генезис кремнезема, характер распространения и его количество существенно различаются.

В строматолитовых доломитах окремнение многостадийно. Во-первых, уже в начале диагенеза кремнезем может выполнять первичные пустоты, во-вторых, на более поздних стадиях литогенеза породы, подвергшиеся растрескиванию, активно выщелачивались, новообразованные пустоты либо практически сразу выполнялись доломитом, либо позднее – халцедоном. Морфология и размеры подобного окремнения весьма разнообразны (рис. 3). Встречаются небольшие, часто удлиненные линзы халцедона, а также крупные полости, в которых видны стадии их постепенного выполнения от периферии к центру. Линзы и стяжения кремнезема, как правило, отделены от основной массы породы корочкой, вдоль которой развиваются стилолитоподобные извилистые трещины, заполненные глинистым или органическим веществом. Отмечено, что во всех породах, содержащих окремненные полости, присутствуют крупные трещины, играющие роль подводящих каналов, по которым в породе проникали растворы, выщелачивающие доломит и поставляющие материал для кристаллизации кремнезема.

Повышенное содержание кремнезема в верхней части рифейской толщи обусловлено длительным предвендским перерывом, во время которого шло образование коры выветривания, происходило интенсивное раз-

Рис. 4. ДОЛОМИТ РАЗНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ



Полости каверн заполнены вторичными кристаллами кальцита и пирита (Юрубчено-Тохомское месторождение, скв. Юр-57, шлиф 8802, глубина 2356,8 м, николи I I)

витие карста в доломитах и наблюдался активный режим циркуляции подземных вод по сложной системе трещин [9].

Процесс образования трещиноватости наиболее интенсивно протекал в пластах, неравномерно обогащенных кремнистым материалом. Неодинаковые прочностные свойства, хрупкость пород, постоянный принос SiO₂ – все это обусловило развитие в рифее сложной системы трещин различной ориентировки и длины, вдоль полостей которых развиваются щелевидные пустоты выщелачивания (рис. 4, 5).

Рис. 5. ОТКРЫТАЯ СТИЛОЛИТОПОДОБНАЯ ТРЕЩИНА С ПУСТОТАМИ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ В ОБЛОМОЧНОМ ОКРЕМНЕННОМ ДОЛОМИТЕ



Юрубчено-Тохомское месторождение, скв. Юр-30, шлиф 8812, глубина 2336,1 м, николи X

Образование секущих трещин вертикальной и наклонной ориентировки в верхней части рифейской толщи в окремненных доломитах и кремнистых породах обеспечило активное движение подземных вод и растворов, обогащенных железом, магнием, кремнеземом и впоследствии УВ в толще рифея, что способствовало образованию сложного резервуара. Конкреции и линзы кремния отличаются по форме и размерам: они округлые, удлинённые, извилистые, их диаметр от 0,5 до 80,0-100,0 мм, реже более. Цвет кремней весьма разнообразен: от белого, розовато-желтого, красновато-вишневого до зеленовато-голубого. В разрезе скв. Юр-56, 28 и 30 встречаются желваки кремнезема черного цвета, окраска которых обусловлена примесью битума и углистого вещества. Стяжения кремнезема неправильной, причудливой формы встречаются в доломитах пятнистых, неравномерно перекристаллизованных, брекчированных, нередко кремнезем частично или полностью заполняет мелкие удлиненные щелевидные каверны и трещины.

Следует отметить, что при изучении шлифов и керн в породах всегда наблюдается развитие вокруг линз кремнезема тонких извилистых стилолитоподобных трещин, заполненных зеленоватым глинистым веществом (хлорит?).

К более поздним стадиям диагенеза следует отнести кремнезем, который полностью инкрустирует каверны выщелачивания и стенки крупных секущих трещин в основном вертикальной ориентировки. В этих пустотах наблюдается также рост крупных кристаллов вторичного кварца, кальцита (см. рис. 4). Окремнение обычно сопровождается интенсивной перекристаллизацией доломитов.

Роль трещиноватости в формировании коллекторских свойств рифейских отложений Юрубчено-Тохомской зоны переоценить сложно, поскольку именно трещины являются проводящими каналами для миграции минерализованных растворов, способствующих выщелачиванию и окремнению пород, они играют основную роль при фильтрации УВ. 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 доломитов и дальнейшим движением по ним подземных вод.

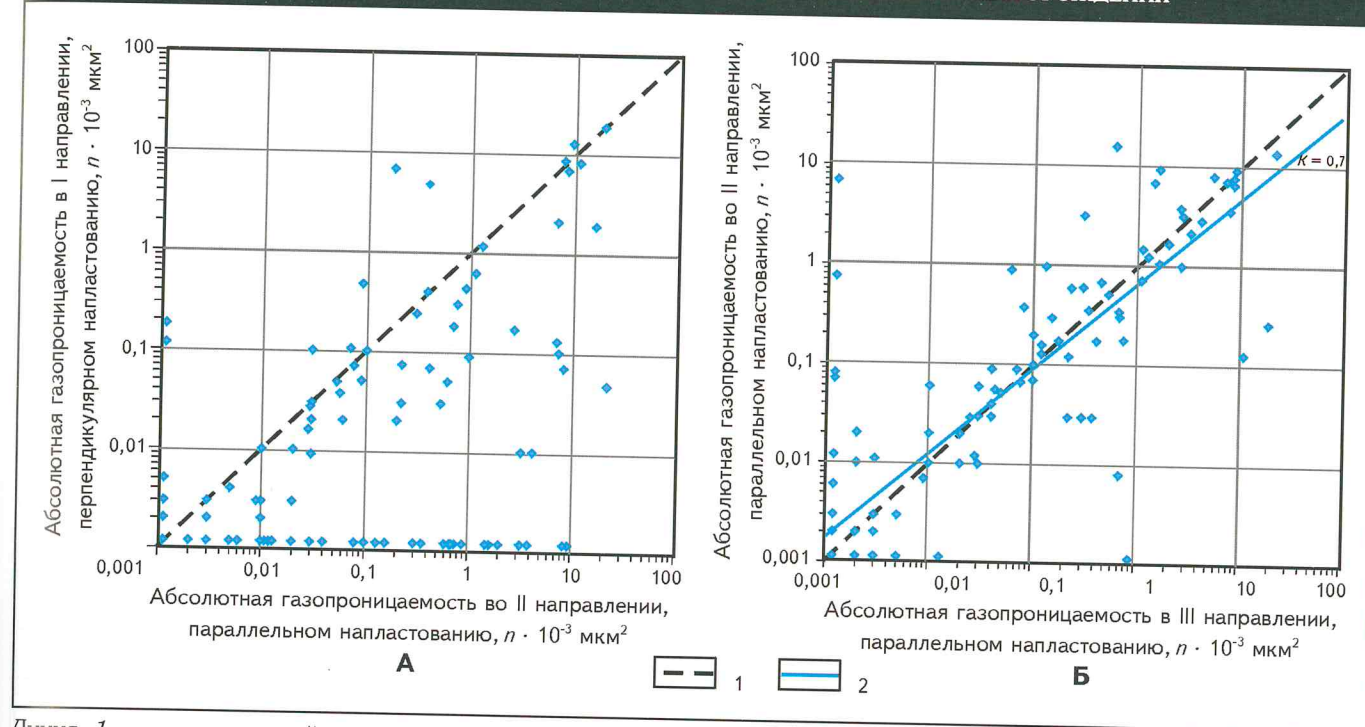
Трещины в изученных отложениях рифея развиты довольно широко. Они бывают прямыми вертикальной, наклонной и горизонтальной ориентировки, извилистыми, стилолитоподобными, минерализованными. Вдоль открытых трещин нередко образуются вытянутые щелевидные каверны, частично заполненные кремнеземом, реже — крупными кристаллами

кварца или доломита (см. рис. 5). Трещины имеют различный генезис и время образования. Вертикальные трещины, в которых отмечается рост новых крупных кристаллов доломита, относятся к наиболее ранней генерации, они длительное время оставались открытыми и определяли пути миграции подземных вод. Несмотря на частичное заполнение полостей секущих трещин вторичными кристаллами, они сохранили фильтрационные свойства до настоящего времени и определяют проводимость флюидов в вертикальном направлении. Отмечено, что окремненные разности обладают лучшими фильтрационно-емкостными свойствами, чем чистые доломиты. Это можно объяснить тем, что растрескивание пород приводит к увеличению проницаемости, миграции агрессивных растворов. Окремнение, связанное с этими трещинами, может являться поисковым признаком высокеемких нефтенасыщенных коллекторов. Окремненные породы обладают трещиноватостью и, как следствие, хорошими коллекторскими свойствами.

Фильтрационные характеристики продуктивных отложений рифея изучены на больших образцах кубической формы с гранью 5 см. Определение абсолютной газопроницаемости в трех взаимоперпендикулярных направлениях позволяет выявить основные пути фильтрации УВ. Фильтрационно-емкостные свойства доломитов изменяются в зависимости от ориентировки трещин: сравнение проницаемости по вертикальному и горизонтальному направлениям, а также по двум направлениям, характеризующим изменение фильтрации по горизонтальным трещинам (рис. 6, А, Б). Расположение точек вблизи линии равных значений свидетельствует об изотропности фильтрационных характеристик, типичной для поровых коллекторов либо для пород с системой секущих трещин вертикальной и горизонтальной ориентировки. Измеренные значения коэффициента проницаемости по образцам в основном находятся в пределах от 10 до $(100-200) \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$ (табл. 2). В большом числе образцов в скв. Юр-14, 19, 28, 43 проницаемость за счет развития секущих трещин вертикальной ориентировки достигает величин $(300-400) \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$, реже до $862,6 \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$. Полученные результаты не являются доказательством незначительного числа вертикальных и наклонных трещин, поскольку секущие трещины обладают большой раскрытостью и они плохо сохраняются при обработке керна.

Анализ смещения точек относительно линии равных значений показал, что для изученных образцов из продуктивных отложений рифея характерна резкая анизотропия фильтрационных свойств по взаимно перпендикулярным направлениям, что свойственно сложным типам коллекторов (см. рис. 6, А). Значительная часть точек легла на ось абсцисс, что объясняется преимущественным развитием трещин горизонтальной ориентировки.

Рис. 6. ИЗМЕНЕНИЕ ОРИЕНТИРОВАННОЙ ГАЗОПРоницаемости по I (А) и II (Б) НАПРАВЛЕНИЯМ В ДОЛОМИТАХ ЮРУБЧЕНСКОЙ ТОЛЩИ ЮРУБЧЕНО-ТОХОМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ



Линия: 1 — равных значений проницаемости, 2 — корреляции; К — коэффициент корреляции

ровки. В нескольких образцах (образец 12 скв. Юр-272, образец 8788 скв. Юр-106, образец 140 скв. Юр-19) определены существенные значения проницаемости как вдоль, так и поперек напластования. Проницаемость достигает величин $(20-200) \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$. Анализ изменчивости трещиноватости показал, что в этих образцах выявлено развитие взаимосвязанной системы трещин различной ориентировки, которые обеспечили высокую фильтрацию в разных направлениях.

В продуктивных отложениях юрубченской толщи выявлено большое число трещин горизонтальной ориентировки. Они различны по форме, степени раскрытости, генезису и оказывают неодинаковое влияние на формирование нефти и газа. Изменение газопроницаемости по двум параллельным напластованиям направлениям обусловлено развитием горизонтальных трещин. Проницаемость при преобладающем развитии горизонтальных трещин изменяется в диапазоне от 10^{-6} до $0,1 \text{ мкм}^2$. Представленный график (см. рис. 6, Б) отражает практически неоднозначную величину проницаемости по направлениям. Увеличение фильтрационно-емкостных свойств обычно наблюдается в разностях доломита с одновременным наличием каверн. Очень большую роль играет степень связанности горизонтальных трещин, что проявляется на фотоснимках в ультрафиолетовом свете за счет развития тонких коротких трещин, соединяющих секущие.

Определение эффективной емкости

Продуктивные отложения рифея отличаются значительной дифференциацией фильтрационно-емкостных свойств по разрезу в связи с сильной изменчивостью трещиноватости и увеличением ширины трещин за счет выщелачивания. Максимальные значения эффективной емкости достигают 3-6 %, реже — более и характерны для каверново-трещинного типа коллектора продуктивных отложений скв. Юр-8, 14, 25, 28, 32, 50. Среднее значение эффективной емкости для трещинных коллекторов — 1,5-2,0 %.

Важным моментом в определении емкости сложных типов коллекторов юрубченской толщи является использование капиллярной пропитки люминофором кубиков с гранью 5 см. Полнота насыщения образца определяется режимом вакуумирования, а главное — капиллярной подпиткой образца. Изучение керна показало, что применение стандартных образцов цилиндров для определения пустотного пространства рифейских доломитов Юрубчено-Тохомского месторождения не позволяет получить достоверных данных по следующим причинам:

1 — влияние маленького размера и формы образца в виде цилиндров дает заниженное значение емкости в сложных типах коллекторов;

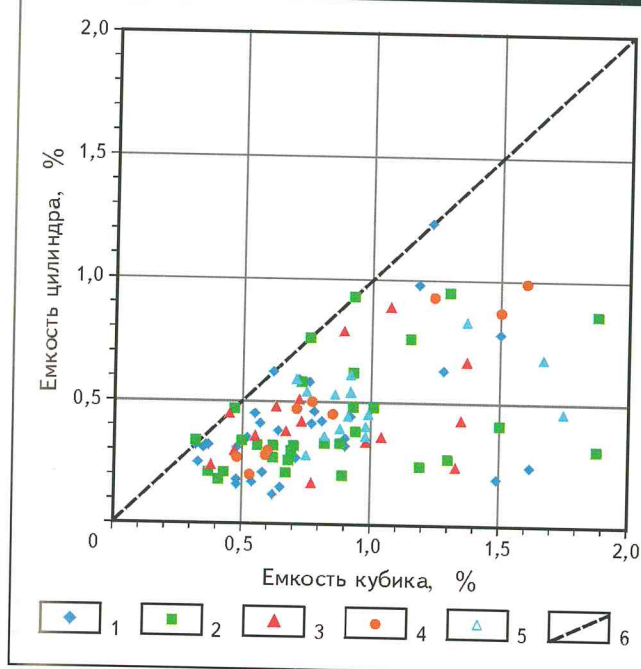
2 — невозможность определения ориентированной газопроницаемости по трем направлениям, что не позволяет выявить основные направления фильтрации.

Таблица 2

Сравнение емкости по кубикам (5×5 см) и цилиндрам (3×3 см) рифейских отложений Юрубчено-Тохомского месторождения

Номер образца	Глубина отбора, м	Емкость пустот, %		Проницаемость, $\mu \cdot 10^{-3}$ мкм ²	Краткая литологическая характеристика
		кубик	цилиндр		
Скв. Юр-14					
56	2393,8	0,71	0,27	179,40	Доломит окремненный, трещиноватый
81	2410,4	1,49	0,19	483,20	То же
95	2425,6	0,90	0,32	63,25	Доломит кавернозный, трещиноватый
122	2441,1	1,18	0,98	285,30	Доломит окремненный
168	2465,7	2,74	1,90	64,80	То же
193	2480,7	1,50	0,78	826,60	Доломит трещиноватый окремненный, кавернозный
201	2483,1	1,28	0,63	44,37	Доломит окремненный, трещиноватый
205	2484,4	1,62	0,24	0,27	Доломит окремненный, трещиноватый, кавернозный
210	2496,3	2,08	0,69	70,31	Доломит трещиноватый
Скв. Юр-18					
153	2379,2	3,37	0,65	243,80	Доломит с кавернами
178	2392,8	1,04	0,36	20,80	Доломит трещиноватый
185	2395,2	1,35	0,43	183,50	Доломит сильнотрещиноватый
250	2425,8	1,37	0,67	55,75	Доломит трещиноватый, окремненный
254	2433,1	1,07	0,89	11,56	То же
Скв. Юр-19					
75	2332,5	5,55	4,96	5,24	Доломит кавернозный, окремненный
119	2366,1	1,67	1,45	65,10	То же
126	2370,3	1,50	0,87	69,55	Доломит трещиноватый
136	2341,0	1,24	0,93	30,37	Доломит трещиноватый, окремненный
140	2381,8	1,60	0,99	202,25	То же
Скв. Юр-28					
34	2407,7	1,88	0,86	342,60	Доломит окремненный, трещиноватый
54	2421,6	1,3	0,27	1,75	Доломит трещиноватый
87	2438,3	0,94	0,21	41,7	То же
146	2470,0	1,34	0,83	130,6	Доломит кавернозный трещиноватый
171	2483,1	1,88	0,31	281,6	Доломит сильнотрещиноватый
171a	2483,2	1,19	0,24	45,03	То же
255	2550,5	1,15	0,62	122,30	Доломит окремненный, трещиноватый
264a	2553,5	1,01	0,48	86,05	Доломит трещиноватый
Скв. Юр-43					
58	2204,3	1,75	0,46	153,18	То же
606	2204,9	1,67	0,68	87,15	То же

Рис. 7. СРАВНЕНИЕ ЕМКОСТИ КУБИКОВ (5×5 см) И ЦИЛИНДРОВ (3×3 см) РИФЕЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮРУБЧЕНО-ТОХОМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ



Скважины: 1 – Юр-14; 2 – Юр-28; 3 – Юр-18; 4 – Юр-19; 5 – Юр-43; 6 – линия равных значений

Сложное строение пустотного пространства продуктивных отложений, интенсивное развитие различной трещиноватости, значительная удаленность секущих трещин друг от друга (3-4 см) выявляются только на кубиках с гранью 5 см. При стандартных исследованиях по цилиндрам сохраняются только одиночные трещины, что приводит к занижению эффективной емкости доломитов.

Сравнительный анализ емкости доломитов, проведенный на кубиках и цилиндрах, позволяет сделать вывод о значительно большей достоверности величин емкости кубиков при насыщении люминофором. Доказательством служит график определения емкости доломитов на образцах кубической формы капиллярным насыщением люминофором и на стандартных образцах – цилиндрах (рис. 7, см. табл. 2). Смещение максимального числа точек от линии равных значений свидетельствует о достоверности метода капиллярной пропитки пород люминофором при определении эффективной емкости по кубикам.

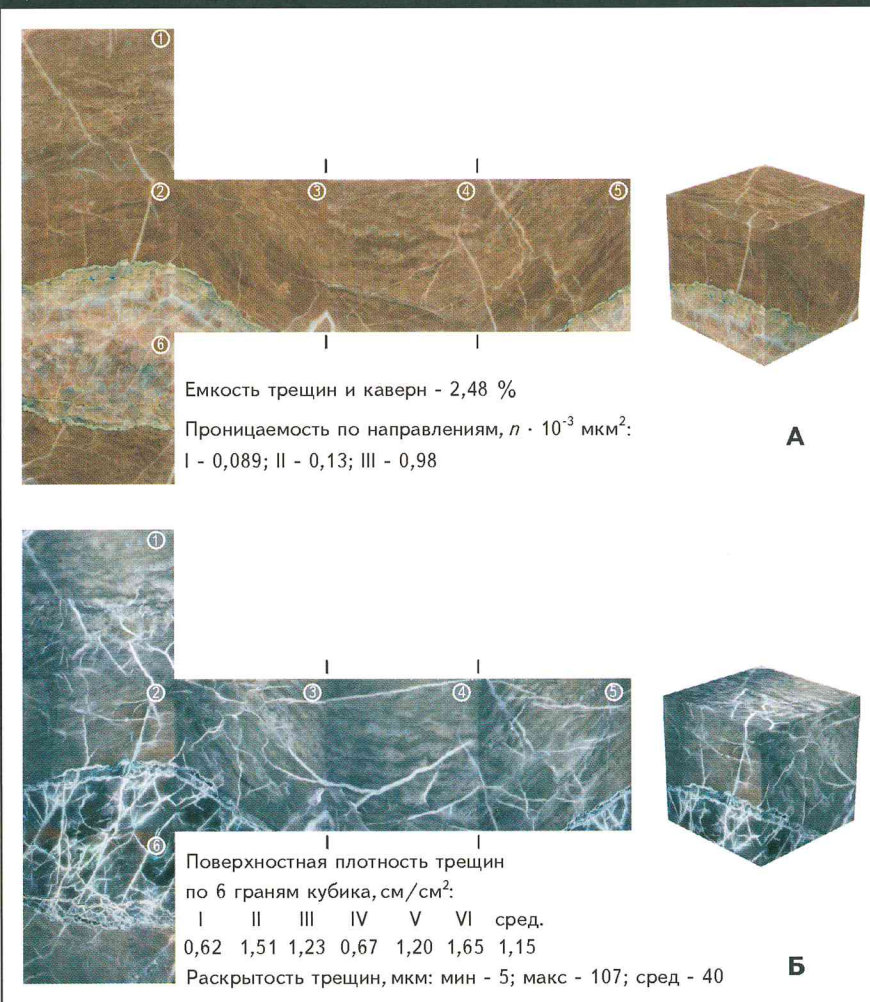
Проведенное сравнение 138 образцов показало значительное расхождение (в 2-3 раза и более) значений емкости, определенных по кубикам и цилиндрам, из-за потери крупных пустот в образцах стандартного размера. Сложное пустотное пространство, наличие пустот, открытых трещин сохраняются на кубиках и практически отсутствуют при изучении цилиндров. Таким образом, метод капиллярного насыщения люминофором,

Таблица 3

Характеристика трещиноватости доломитов юрубченской толщи

Номер образца	Номер скважины	Глубина, м	Емкость трещин, %	Поверхностная плотность трещин по граммам, см/см ²						Раскрытость трещин, мкм					
				Проницаемость по направлениям, $\mu \cdot 10^{-3}$ мкм ²			Среднее			Среднее			Среднее		
				I	II	III	I	II	III	IV	V	VI	Среднее	мин	макс
8669	Юр-44	2232,50	1,50	4,800	0,38	0,03	0,56	0,64	0,09	0,40	0,32	0,56	0,43	7	50
8788	Юр-106	2490,00	1,80	8,650	7,86	3,67	0,24	0,56	0,02	0,24	0	0,16	0,30	< 5	150
3	Юр-198	2775,25	2,48	0,089	0,13	0,98	0,62	1,51	1,23	0,67	1,20	1,65	1,15	5	107
5	Юр-198	2776,25	2,56	0,180	0,45	0,69	1,10	0,99	1,30	0,97	0,70	1,23	1,05	5	120
10	Юр-272	2486,25	3,10	18,810	19,20	2,65	0,32	0,46	0,14	0,74	0,15	0,40	0,38	5	210
12	Юр-272	2508,82	2,51	66,780	61,34	173,50	0,78	0,86	0,78	0,44	0,89	0,76	0,75	5	250
18	Юр-272	2575,94	2,50	12,800	1,60	9,50	1,36	1,31	1,28	0,96	1,40	1,10	1,20	5	100

Рис. 8. РАЗЛИЧНЫЙ ХАРАКТЕР ТРЕЩИНОВАТОСТИ В ХАЛЦЕДОНОВОЙ ЛИНЗЕ И СТРОМАТОЛИТОВОМ ДОЛОМИТЕ (Юрубчено-Тохомское месторождение, скв. Юр-198, образец 3, глубина 2775,25 м) ДО (А) И ПОСЛЕ (Б) НАСЫЩЕНИЯ ЛЮМИНОФОРМОМ



А – доломит серый, тонкослоистый, мелкокристаллический; строматолитовая текстура подчеркивается чередованием микритовых доломитов и светлых кремнистых прослоев; в породе встречаются крупные линзы, выполненные халцедоном; кремнистая линза отделяется от основной массы породы зеленоватой глауконитовой корочкой, которая образовалась на стенке полости выщелачивания, Б – кремнистый доломит, в котором развита сложная система хорошо взаимосоединяющихся фильтрующих трещин; наблюдается различный характер трещиноватости в основной доломитовой породе и крупной линзовидной конкреции, выполненной халцедоном; в конкреции трещины более короткие, пересекающиеся между собой, их раскрытость и ориентировка существенно меньше, чем в доломите; совокупное влияние разноориентированных трещин определяет анизотропию проницаемости; поверхностная плотность средняя (1,15 см/см²), раскрытость изменяется от 5 до 107 мкм

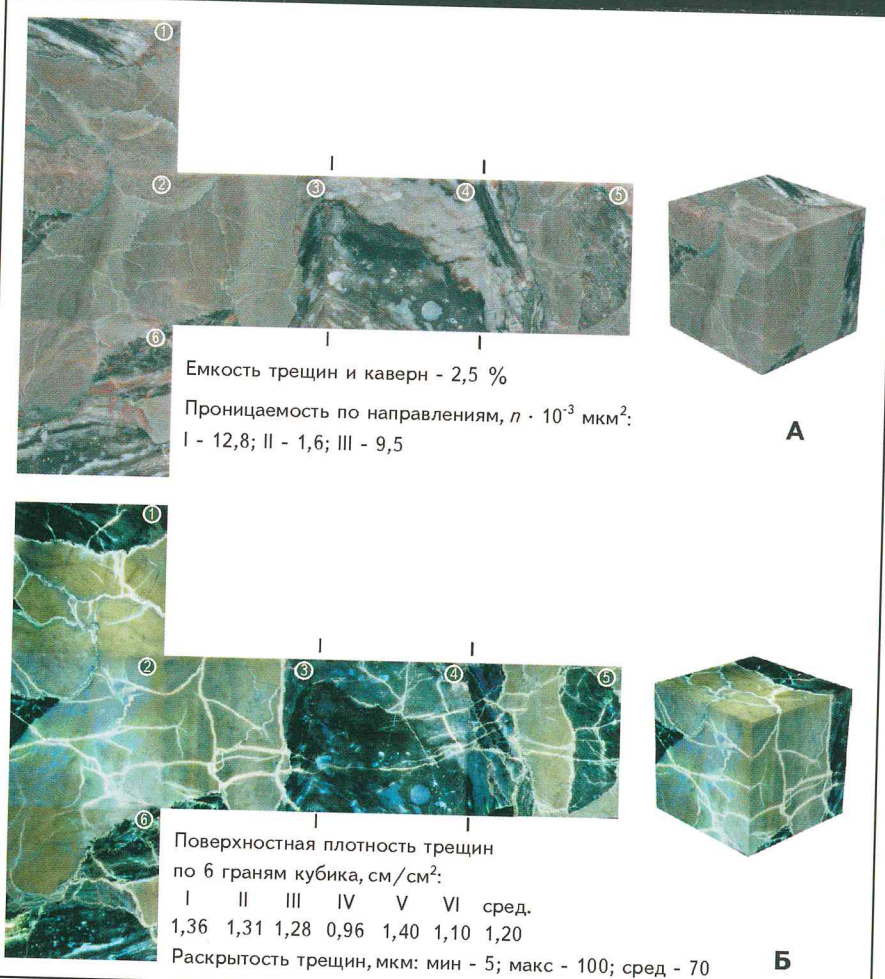
применяемый при изучении кавернозно-трещиноватых доломитов, дает более достоверную оценку эффективной емкости.

Трещиноватость в рифейских продуктивных отложениях Юрубчено-Тохомского месторождения развита интенсивно, но весьма неодинакова по разрезу.

Трещины имеют различную морфологию, ориентировку, протяженность и раскрытость. Фотографирование развертки кубика в дневном свете до насыщения люминофором выявляет текстурно-структурные особенности пород и помогает определить условия осадконакопления. Однако по цветным фотоснимкам пород до насыщения люминофором невозможно оценить степень заполненности трещин и пустот, определить влияние трещин на фильтрационные характеристики породы. При использовании метода капиллярного насыщения кубиков люминофором и фотографировании шести граней в источнике ультрафиолетового света появляется возможность оценить количественную характеристику трещин. Полученные фотоснимки позволяют увидеть морфологию трещин, выявить сложное строение пустот, оценить значимость каверн и трещин в емкости и фильтрации. При обработке фотографий граней кубика, снятых в ультрафиолетовом свете после насыщения люминофором, оцениваются количественные параметры трещин: раскрытость, поверхностная плотность, морфология и генезис пустот (табл. 3). Сравнение фотографий, полученных в дневном и ультрафиолетовом свете до и после насыщения образцов люминофором, позволяет дифференцировать открытые фильтрующие трещины и минерализованные – заполненные гидроксидами железа красного и бурого цветов, зеленым или коричневым веществом – при глинизации, а также темными, черными тонами – при их насыщении ОВ. В отдельных интервалах разреза преобладающее развитие имеют плотные разности почти без трещин, в других выявлена система взаимосвязанных трещин различной ориентировки и степени раскрытости.

Фотографирование в дневном свете до насыщения люминофором образца 3 скв. Юр-198 показало развитие в строматолитовом мелкокристаллическом доломите крупной линзы округлой формы размером 4-6 см, вы-

Рис. 9. НЕОДНОЗНАЧНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТРЕЩИНОВАТОСТИ В ДОЛОМИТО-КРЕМНИСТОЙ БРЕКЧИИ (Юрубчено-Тохомское месторождение, скв. Юр-272, образец 18, глубина 2575,94 м) ДО (А) И ПОСЛЕ (Б) НАСЫЩЕНИЯ ЛЮМИНОФОРМОМ



Доломито-кремнистая брекчия: А – с реликтами первичного строматолитового коричневого тонкослоистого доломита и кремнеземом белого цвета; наблюдаются обломки коричневого доломита неправильной формы, интенсивно разбитые трещинами, внутри встречаются слоистые линзы белого и темно-серого цвета, окаймленные извилистыми трещинами, заполненными частично кремнеземом и глауконитом, Б – существенно различный характер трещиноватости в доломите и кремнистых обломках; в халцедоне трещины извилистые, меньшей раскрытости, нередко окаймляют обломки; в доломите – секущие, определяющие емкость и проницаемость

полненной халцедоном (рис. 8, А). Порода подвергалась интенсивному выщелачиванию, за счет чего в ней формировались крупные пустоты, которые в течение длительного времени, постепенно в несколько стадий, полностью заполнялись кремнеземом. Кремнистая линза от основной массы породы отделяется зеленоватой глауконитовой корочкой, которая образовалась по стенкам полостей выщелачивания.

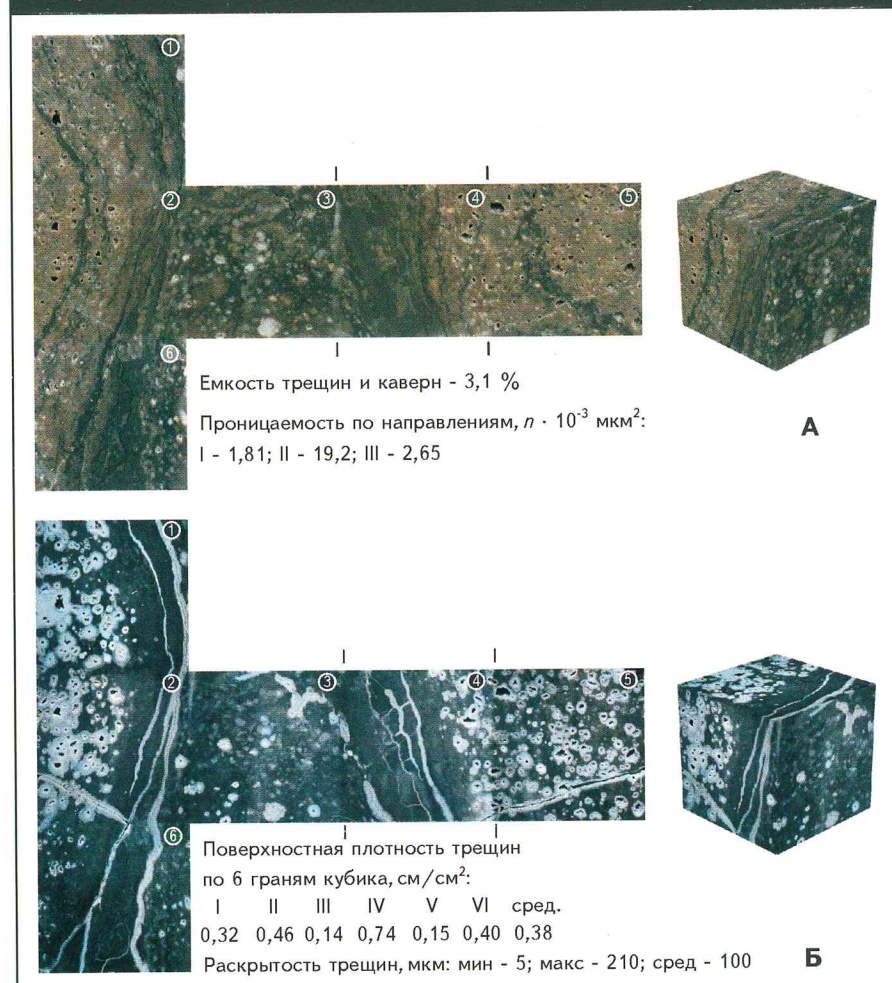
После насыщения образца люминофором на фотоснимке, сделанном в источнике ультрафиолетового света, выявлено интенсивное развитие трещин различной геометрии (см. рис. 8, Б). В доломите развита сложная система трещин разного времени образования. Трещины первой генерации, выявленные в доломите, секущие, редкие, вертикальной и горизонтальной ориентировки, длиной 4-5 см и средней раскрытостью до 107 мкм. Они частично заполнены вторичными кристаллами и являлись подводными каналами для растворов, насыщенных кремнеземом при заполнении палеокаверн. В линзе кремнезема трещины более поздней генерации, они короткие (до 1-2 см), взаимопересекающиеся, их раскрытость существенно меньше, чем в доломите. Неодинаковое развитие трещиноватости в доломите и линзе халцедона отражается на значении поверхностной плотности трещин, в доломите она составляет 0,6-0,7 см/см², а в линзе – 1,1-1,4 см/см². Таким образом, можно сделать вывод о различном характере трещиноватости в доломите и линзе выполненной халцедоном, которые неодинаково определяют фильтрационно-емкостные свойства. Фильтрация протекает по секущим трещинам развитым в доломите, а эффективная емкость обусловлена развитием тонких коротких трещин в линзе халцедона. Общая эффективная емкость породы достигает 2,48 %.

В качестве примера столь же неоднозначного развития трещиноватости можно привести доломито-кремнистую брекчию (образец 18, скв. Юр-272). Обломки брекчии неправильной формы имеют размер от 1,5 см до 4,0 см и более, представлены доломитом

строматолитовым тонкослоистым и обломками белого и темно-серого халцедона. По границам обломков располагаются трещины шириной до 1-2 мм, частично заполненные темно-коричневым глинисто-битуминозным веществом.

На фотографии, сделанной в ультрафиолетовом свете после насыщения доломито-кремнистой брекчии люминофором, отчетливо виден существенно различный характер трещиноватости в строматолитовом доломите и кремнистых обломках (рис. 9). В халцедоне редкие короткие извилистые трещины небольшой рас-

Рис. 10. ОДНОВРЕМЕННОЕ РАЗВИТИЕ СЕКУЩИХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ТРЕЩИН И ОТКРЫТЫХ КАВЕРН, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ЭФФЕКТИВНУЮ ЕМКОСТЬ И ПРОНИЦАЕМОСТЬ (Юрубчено-Тохомское месторождение, скв. Юр-272, образец 10, глубина 2486,25 м) ДО (А) И ПОСЛЕ (Б) НАСЫЩЕНИЯ ЛЮМИНОФОРМОМ



А – доломит темно-серый с ажурной строматолитовой текстурой, подчеркнутая чередованием микритового доломита и светлых окремненных слоев с многочисленными мелкими кавернами, стенки некоторых из них инкрустированы доломитом, Б – доломит кавернозно-трещиноватый с большим числом мелких каверн, частично заполненных белым кремнеземом; длинные секущие трещины вертикальной ориентировки имеют преимущественное развитие, осложнены короткими взаимосвязанными трещинами, фильтрация протекает по сложной системе трещин и каверн; характерны высокие значения емкости и проницаемости

крытости (до 15 мкм). В обломках доломита трещины секущие, слабоизвилистые вертикальной и наклонной ориентировки с большой раскрытостью, именно эти трещины определяют существенную емкость (2,5 %) и высокую проницаемость одного порядка по всем трем направлениям до $12,8 \cdot 10^{-3}$ мкм².

Совершенно иной тип коллектора – каверново-трещинный выявлен в образце 10 скв. Юр-272, который представлен доломитом темно-серым, кавернозно-трещинным с ажурной строматолитовой текстурой, подчеркнутая чередованием микритового доломита и свет-

лых окремненных слоев, в которых располагаются многочисленные мелкие каверны преимущественно овальной формы размером 1-5 мм. Почти все каверны открытые, стенки некоторых частично инкрустированы доломитом и белым кремнеземом.

На фотоснимке образца, насыщенного люминоформом, отчетливо видны особенности строения и морфология пустот. Трещины секущие, длинные прямые вертикальной ориентировки, осложнены редкими короткими оперяющими трещинками (рис. 10). Одновременное развитие секущих вертикальных трещин и большого числа каверн определяет эффективную емкость до 3,1 % и фильтрационные свойства – $19 \cdot 10^{-3}$ мкм². Проницаемость практически одинакова по всем трем направлениям.

Неодинаковое влияние характера трещиноватости на фильтрационно-емкостные свойства пород можно видеть при сравнении фотографий, насыщенных образцов кубической формы 12 и 5, сделанных в источнике ультрафиолетового света (рис. 11, А).

Образец 12 скв. 272 (см. рис. 11, А) представлен доломитом строматолитовым, тонкослоистым кремнистым. Трещины длинные секущие вертикальной и наклонной ориентировки располагаются на расстоянии более 2 см друг от друга, под углом 90°. Вдоль полостей трещин развиты щелевидные каверны средней раскрытости до 125 мкм, частично выполненные крупными вторичными кристаллами доломита. Совокупность системы секущих трещин и полостей выщелачивания вдоль

них определяет высокие коллекторские свойства пород: эффективная емкость – 2,51 %, проницаемость по трем направлениям – $(66,8-173,5) \cdot 10^{-3}$ мкм².

Образец 5 скв. 198 (см. рис. 11, Б) также сложен строматолитовым доломитом, но отличается развитием очень большого числа хаотически распределенных взаимопересекающихся тонких коротких трещин различной ориентировки с большой поверхностной плотностью ($1,05$ см/см²). Вдоль полостей трещин развиты узкие щелевидные каверны выщелачивания шириной до первых миллиметров, за счет чего эффек-

тивная емкость достигает 2,56 %, т.е. практически одинакова с образцом 12. Отсутствие секущих трещин обусловило низкую проницаемость породы. Тем не менее стоит подчеркнуть, что сеть трещин, развитая в образце 5, является питающей для секущих трещин первой генерации и увеличивает в пласте извлекаемые запасы УВ.

Выводы

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

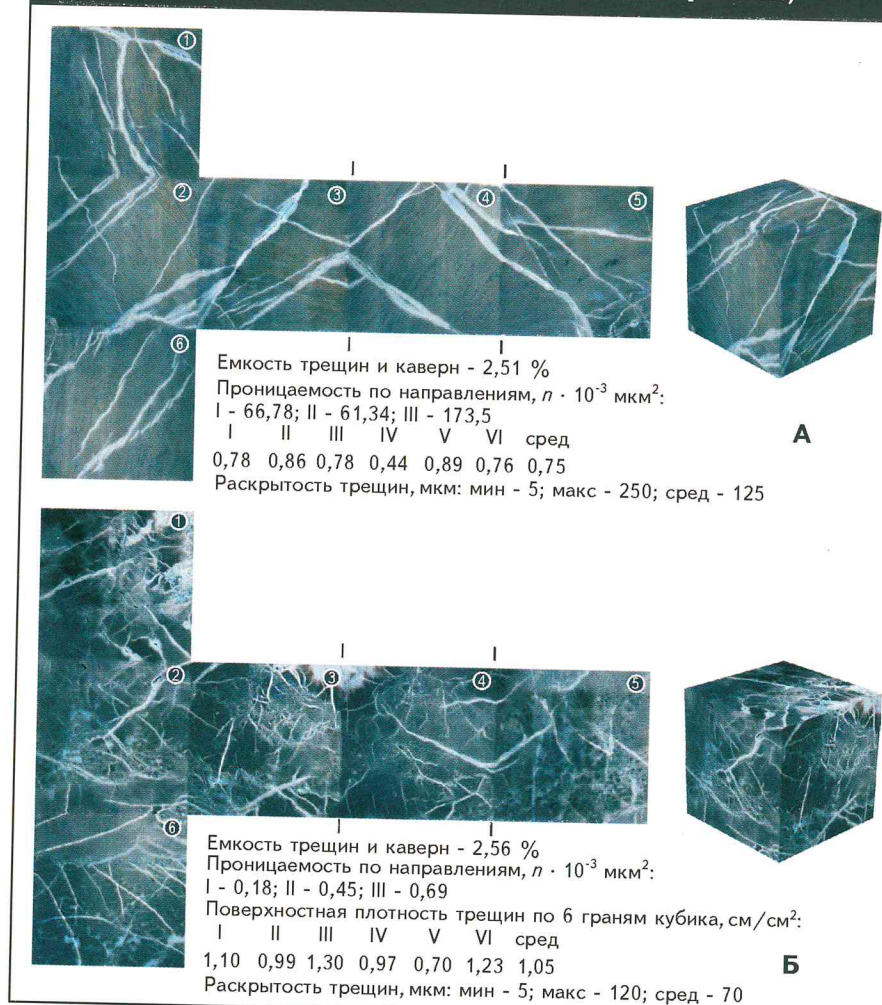
2. В рифейском бассейне доминировал придонно-иловый режим осадконакопления с различными гидродинамическими обстановками, что привело к образованию большого числа литогенетических типов пород, распространенных по площади Юрубчено-Тохомского месторождения.

3. Исследования показали, что совокупное влияние вторичных процессов (трещинообразование, выщелачивание, перекристаллизация и окремнение) обусловило развитие сложного пустотного пространства в строматолитовых доломитах нижнеюрбченской толщи рифея.

4. Большое влияние на формирование сложных типов коллекторов рифея оказал привнос кремнезема различного генезиса и формы. Разное время его прихода неоднзначно влияет на фильтрационно-емкостные свойства. Первичный кремнезем увеличивает хрупкость породы и повышает ее трещиноватость, а следовательно, проницаемость, в то время как появление вторичного кремнезема в виде линз и желваков частично залечивает крупные и мелкие пустоты и палеокаверны, т.е. влияет на эффективную емкость.

5. Выявлен неоднозначный характер трещиноватости в чистом доломите и кремнеземе. В доломите развиты преимущественно крупные прямолинейные секущие трещины вертикальной и наклонной ориентировки, определяющие пути миграции растворов.

Рис. 11. НЕОДИНАКОВОЕ ВЛИЯНИЕ ТРЕЩИНОВАТОСТИ НА ФИЛЬТРАЦИЮ УВ (Юрубчено-Тохомское месторождение)



А – доломит строматолитовый, тонкослоистый, кремнистый, развитая сложная система длинных секущих взаимопересекающихся трещин; вдоль полостей трещин развиты щелевидные каверны; преобладают трещины наклонной ориентировки, которые определяют высокие фильтрационные свойства пород; трещины располагаются на расстоянии более 2 см друг от друга под углом 90° (скв. Юр-272, образец 12, глубина 2508,82 м), Б – доломит, в котором наблюдается большое число тонких коротких взаимосвязанных трещин различной ориентировки, создающих сеть и определяющих низкую фильтрацию (скв. Юр-198, образец 5, глубина 2776,25 м)

В кремнистых доломитах и линзах кремнезема (халцедона) преобладают тонкие короткие взаимопересекающиеся трещины различной ориентировки, которые увеличивают эффективную емкость, но мало влияют на проницаемость.

6. Проведенные комплексные исследования позволили выявить, что нижнеюрбченская толща Юр₃ выдержана по площади месторождения, характеризуется высокой степенью трещиноватости, обладает высокими фильтрационно-емкостными свойствами и продуктивна на нефть и газ во всех скважинах, т.е. наиболее перспективна на Юрубчено-Тохомском месторождении.

FORMATION CONDITIONS AND PROPERTIES OF THE RIPHEAN CARBONACEOUS RESERVOIRS OF THE YURUBCHENO-TOKHOMSK DEPOSIT

Bagrintseva K.I. (FGUP "All-Russian Scientific Research Geological Oil Institute"), Krasilnikova N.B. (OAO "RN Krasnoyarsk-NIPneft"), Sautkin R.S. (FGUP "All-Russian Scientific Research Geological Oil Institute")

The article is devoted to the study of reservoir properties of the Riphean low-capacity carbonaceous sediments of the Yurubcheno-Tokhomskoye field. The authors defined several types of fracturing, presented reservoir properties and described postsedimentation processes that are determinant for the formation of the oldest ancient reservoirs in the world.

Key words: Yurubcheno-Tokhomskoye field; carbonate reservoirs; fractures; reservoir properties; used a new method of evaluating complex reservoirs, new method.

7. Преобладающее развитие в строматолитовых доломитах толщи ЮР₃ имеет каверново-трещинный тип коллектора, за счет образования щелевидных пустот вдоль полостей трещин.

Литература

1. Багринцева К.И. Условия формирования и свойства карбонатных коллекторов нефти и газа. — М.: Изд-во РГГУ, 1999.
2. Багринцева К.И. Применение капиллярной дефектоскопии в нефтяной геологии для выделения и оценки трещиноватости в горных породах / К.И.Багринцева, Р.С.Сауткин, Г.И.Шершуков // MEGATECH / Новые технологии в промышленной диагностике и безопасности. — 2013. — № 4.
3. Конторович А.Э. Геологическое строение и условия формирования гигантской Юрубчено-Тохомской зоны нефте-

газонакопления в верхнем протерозое Сибирской платформы / А.Э. Конторович, А.Н.Изосимова, А.А.Конторович и др. // Геология и геофизика. — 1996. — Т. 37. — № 8.

4. Ginsburg R.N. Geology of calcareous algal (notes for a short course) / R.N.Ginsburg, R.Resak, I.L.Bray // Sedimenta I. — University of Miami, 1971.

5. Уилсон Дж.Л. Карбонатные фации в геологической истории. пер. с англ. — М.: Недра, 1980.

6. Кузнецов В.Г. Фациальная обусловленность развития коллекторов в рифейских отложениях Юрубчено-Тохомской зоны нефтегазонакопления / В.Г.Кузнецов, Н.М.Скобелева, В.Н.Маркова и др. // Геология нефти и газа. — 2006. — № 6.

7. Дольник Т.А. Строматолиты и микрофитолиты в стратиграфии рифея и венда складчатого обрамления юга Сибирской платформы. — Новосибирск: Изд-во ИГиГ СО РАН, 2000.

8. Коржинский Д.С. Инфильтрационный метасоматоз при наличии температурного градиента и приконтактовое метасоматическое выщелачивание // Зап. ВМО. — 1953 — Ч. 82. — Вып. 3.

9. Пустыльников А.М. Происхождение и формы выделения кремнезема в рифейских отложениях Байкитской антеклизы (Сибирская платформа) в связи с проблемой формирования трещинно-каверновых коллекторов / А.М.Пустыльников, Л.Г.Вакуленко // Геология и геофизика. — 1997. — Т. 38. — № 12.

© К.И.Багринцева, Н.Б.Красильникова, Р.С.Сауткин, 2015

Ксения Ивановна Багринцева,
ведущий научный сотрудник,
доктор геолого-минералогических наук,
info@vniigni.ru;

Наталья Борисовна Красильникова,
директор,
krasilnikova NB@kr-nipneft.ru;

Роман Сергеевич Сауткин,
romsau@yandex.ru.



УДК 550.812.1

СТРУКТУРНО-ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКИЙ МЕТОД ДИСТАНЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ РАЗВЕДКЕ И РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА

Д.М.Трофимов (ООО "РЕСЕНОЙЛ"), Л.А.Сум (Институт физики земли им. О.Ю.Шмидта РАН), М.К.Шуваева (ООО "РЕСЕНОЙЛ")

Основное преимущество структурно-тектонифизического метода относительно традиционного комплекса работ на нефть и газ заключается в том, что он базируется на данных новейших дистанционных съемок с высоким пространственным и спектральным разрешением, а также непрерывным полем измеряемой информации. Эти съемки обеспечивают получение детальных структурно-геодинамических материалов в широком масштабном ряду. При комплексной интерпретации с дискретной системой геолого-геофизических данных представляется возможным получить более детальную информацию о структуре и напряженном состоянии резервуаров.

Ключевые слова: структурно-тектонифизический метод; дистанционные съемки; разведка; разработка; сбросы; сдвиги; напряженное состояние; каналы; барьеры.

Как весь осадочный чехол, так и резервуары нефти и газа находятся в некотором геодинамическом напряжении, оценка значимости которого имеет практическое значение для их разработки. Напряженное состояние как флюидодинамическое, так и механическое объясняется группой факторов, среди которых ведущими являются региональное тектоническое воздействие и локальные кинематические особенности разрывных нарушений. Комплекс постоянно действующих постскладчатых факторов влияет на перестроение ловушек, заложенных в палеотектонический период, и формирование залежей УВ.

В связи с этим представляется целесообразным изучать современное напряженное состояние осадочного чехла и учитывать действие двух сил: естественных, в основном тектоногенных, оказывающих воздействие на формирование ловушек и залежей, и техногенных, связанных с системой разработки месторождений. Возможность решения этих вопросов во времени или с помощью мониторинга в период проведения разведки и эксплуата-

ции стала достижимой при появлении в 2000-х гг. новых высокоразрешающих съемок из космоса. Они обеспечивают получение непрерывного поля измерений спектральных характеристик и двух видов информации: структурной и тектонофизической. Первая оценивает делимость и дислоцированность резервуара мало- и микроамплитудными нарушениями с прогнозом степени их новейшей и современной активности, дополняющим полученные геолого-геофизические данные. Вторая дает представление о распределении напряженного состояния массива пород в пределах месторождения.

Исходя из этого, целью данной статьи является показать возможности нового метода дистанционных исследований — структурно-тектонифизического, который предназначен для прогноза тонкой структуры резервуара и оценки его напряженного состояния через кинематику современно подвижных тектонических элементов ловушки. Метод обладает высокой детальностью и позволяет получать информацию о современной, оконча-

тельно сформированной структуре с осложняющими ее активными малоамплитудными нарушениями и данными о геотермических и миграционных процессах, облегчающих оценку перспектив нефтегазонакопления.

Проведенный корреляционный анализ показал наличие пространственной связи спектральных, тепловых аномалий и современных активных разрывных нарушений. Эти факты свидетельствуют, что их активизация, повышенный тепловой поток и миграция УВ вызваны единым термодинамическим процессом.

Выделенные в процессе этого анализа тектонические нарушения с различными кинематическими характеристиками (сбросы, сдвиги, раздвиги и др.), осложняющие структурные ловушки и разделяющие их на блоки, несут тектонофизическую информацию о напряженном состоянии участков недр в пределах месторождений и современной активности резервуаров. Она имеет непосредственное влияние на их фильтрационно-емкостные свойства, так как выявляемые кинематические особенности разрывных нарушений служат предпосылками



12-я международная выставка НЕДРА-2015 Изучение. Разведка. Добыча

31 марта - 2 апреля 2015 г. Москва, ВДНХ, павильон № 55

При поддержке: Совета Федерации Российской Федерации, Комитета Государственной Думы по природным ресурсам, природопользованию и экологии, Торгово-промышленной палаты Российской Федерации

В рамках Деловой программы выставки запланировано проведение научно-технических мероприятий по стратегии развития и использования минерально-сырьевой базы России, в том числе:

Научно-практическая конференция «Война и Геология. 70 лет Победы»

В дни работы выставки будет проходить Фестиваль авторской геологической песни «Люди идут по свету»

Контактная информация: Тел (499) 760-31-61

E-mail: expo-salon@rambler.ru, info@nedraexpo.ru | www.nedraexpo.ru

