

В.Н. МАРКОВА

## ЛИТОЛОГИЯ И ПЕТРОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОДУКТИВНЫХ РИФЕЙСКИХ КАРБОНАТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КУЮМБИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Описаны семь основных типов карбонатных пород Куюмбинского месторождения. По составу и количественным соотношениям пород различных структур выделены четыре главных типа разреза рифейских отложений: доломитовый, терригенно-доломитовый, глинисто-доломитовый и терригенно-известняковый, в которых изучены вторичные процессы — окремнение, перекристаллизация, выщелачивание и трещинообразование. Статистически обработаны данные по открытой пористости и проницаемости карбонатных отложений. Выявлены некоторые эмпирические закономерности между литологическими особенностями пород и их фильтрационно-емкостными свойствами.

Куюмбинское нефтегазоконденсатное месторождение входит в Юрубчено-Тохомскую зону нефтегазонакопления, расположенную на северном борту Байкитской антеклизы, в южной части Сибирской платформы. Разрез месторождения представлен отложениями рифея, венда и кембрия, несогласно залегающими на гранитогнейсах кристаллического фундамента (архей—нижней протерозой) [3]. Рифейский комплекс представлен рифтовой терригенно-карбонатной формацией. В нем выделяются три отдела: нижний, сложенный преимущественно терригенными породами; средний и верхний, представленные доломитами, реже известняками и аргиллитами, иногда песчаниками. Вендский комплекс с угловым и стратиграфическим несогласием залегает на породах рифея. Он сложен чередованием доломитов в разной степени сульфатизированных, песчаников и алевро-аргиллитов. Кембрийские отложения образуют единый седиментационный цикл с вендом, они представлены чередованием галогенных, карбонатных и сульфатно-карбонатных пород. В среднем—верхнем кембрии в разрезе преобладают терригенные образования. Ордовикские отложения представлены терригенными породами, согласно перекрывающими отложения кембрия (рис. 1).

Резервуаром месторождения являются доломиты рифея с низкими значениями матричной пористости (< 1%) и проницаемости (до  $1,0 \times 10^{-15}$  м<sup>2</sup>). Основную роль в формировании фильтрационно-емкостных свойств пород играют вторичные процессы, формирующие коллекторы трещинного и/или каверново-трещинного типов. Значения коллекторских параметров в зонах повышенной трещиноватости и кавернозности следующие: открытая пористость до 10,35%; проницаемость до  $116 \times 10^{-15}$  м<sup>2</sup>. Основная залежь углеводородов расположена на глубине около 2,5 км [2, 3]. Покрышкой служат галогенно-карбонатные отложения венда—нижнего кембрия, причем кембрийские соли являются основным наиболее надежным и регионально распространенным флюидоупором [3].

Существуют две основные альтернативные модели строения рифейских отложений месторождения. Первая основана на выклинивании разновоз-

растных литологически- и фациально-однородных толщ под предвендскую эрозионную поверхность [2]. Вторая отражает представление о пластовом субгоризонтальном залегании рифейских толщ с резкой латеральной литологофациальной неоднородностью, выполняющих в пределах Куюмбинского месторождения крупный одноименный грабен-рифт [1, 4].

Объект исследования — рифейские карбонатные отложения Куюмбинского месторождения

### Основные типы рифейских карбонатных пород

Минеральный состав карбонатных пород изучен микроскопически, а также с помощью карбонатного и рентгеноструктурного анализов. В результате выделены семь основных типов пород, которые представлены в основном доломитами, значительно реже известняками. Цвет рифейских пород бежевый, серый, розовато-серый, зеленовато-серый, темно-серый вплоть до черного за счет содержания в них битуминозно-глинистого вещества.

Строматолитовые доломиты слагают большую часть рифейского разреза и представлены как ламинитами (плоскостойчатыми образованиями), так и столбчатыми разностями. Текстуры — микро-, прерывисто- и волнистослоистые, ажурные. В строматолитовых доломитах отмечаются седиментационные фенестральные структуры. Фенестры выполнены светло- и розовато-серым яснокристаллическим доломитом с гематитом, реже кремнистым веществом или кристаллическим кварцем. Иногда центральные части седиментационных пустот остаются незаполненными. Часто в породах наблюдаются текстуры поверхности слоя в виде

**Рис. 1. Сводная стратиграфическая схема осадочных отложений Куюмбинского месторождения [по 2, 3]: 1–6 – доломиты: 1 – строматолитовые; 2 – граноморфные; 3 – глинистые; 4 – окремнелые; 5 – песчаные и известняковые; 6 – ангидритовые; 7 – аргиллиты; 8 – алевро-аргиллиты; 9 – алевролиты; 10 – песчаники; 11 – песчаники алевролитовые; 12 – конгломераты; 13 – каменная соль; 14 – гранитогнейсы; 15 – несогласное залегание пород; 16 – покрышка; 17 – резервуар; ярусы кембрия: нижнего (Є<sub>1</sub>): tom – томмотский; atb – атдабанский; bt – ботомский; нижнего–среднего (Є<sub>1+2</sub>): tn+am – тойонский+амгинский; среднего–верхнего (Є<sub>2+3</sub>): m – майский**

СИСТЕМА	ОТДЕЛ	ЯРУС	ЛИТОЛОГИЧЕСКАЯ КОЛОНКА	МОЩНОСТЬ, М	КРАТКАЯ ЛИТОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
О	О <sub>1</sub>			0-50	Песчаники
КЕМБРИЙСКАЯ	НИЖНИЙ	СРЕДНИЙ + ВЕРХНИЙ $\epsilon_{2+3}$	m	310-735	Песчаники алевритовые с пластами доломитов и доломитов глинистых
		НИЖНИЙ + СРЕДНИЙ $\epsilon_{1+2}$	tn + am	390-580	Каменная соль с пластами доломитов ангидритовых
	СРЕДНИЙ	$\epsilon_1$	bt	615-680	Доломиты глинистые, ангидритовые, реже строматолитовые с пластами каменной соли
			atb	450-555	Переслаивание каменной соли и доломитов ангидритовых
	V- $\epsilon_1$	tom	40-55	Доломиты ангидритистые и ангидритовые ①	
ВЕНДСКАЯ V			116-281	Доломиты ангидритистые, глинистые и песчаные с прослоями песчаников алевритовых и конгломератов	
СКАЯ	R <sub>2</sub>			238-267	Доломиты строматолитовые с пластами аргиллитов и прослоями песчаников
				2283-3344	Доломиты строматолитовые и граноморфные с пластами доломитов глинистых, доломитов окремнелых, с прослоями аргиллитов, алевро-аргиллитов и песчаников ②
Р	R <sub>1</sub>			9-362	Аргиллиты с прослоями алевролитов
Pt <sub>1</sub>				260-300	Песчаники
Ar-Pt, ФУНДАМЕНТ				280	Гранитогнейсы

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17

трещин усыхания, выполненных глинисто-алевритовым материалом. По поверхностям наслоения строматолитовых слоевищ отмечаются тонкие миллиметровые слои глинистого вещества, насыщенного гематитом.

*Граноморфные доломиты* сложены округлыми, реже вытянутыми водорослевыми пелитоморфными комками и микротонкокристаллическими сгустками, оолитами (0,1—0,5 мм), вытянутыми и остроугольными интракластами и/или строматокластами (0,4—15 мм, иногда 6 см). Структура отдельных интраклавов микрослойчатая строматолитовая. Сцементированы форменные элементы спаритовым доломитом, реже пелитоморфно-микрориспаллическим глинисто-доломитовым материалом. Часто граноморфные доломиты содержат значительное количество (до 30 %) обломочных зерен кварца и полевых шпатов алевритовой и песчаной размерностей, в разной степени окатанных.

*Микритовые доломиты* образуют прослой мощностью < 20 см. Текстура пород массивная, реже скрытослоистая; окраска светлая, однородная; излом раковистый. Микроскопически они сложены очень однородным тонкомикрозернистым (0,005—0,1 мм) доломитом.

*Разнокристаллические доломиты с реликтовой водорослевой структурой* образованы в результате перекристаллизации фитогенных доломитов. В шлифах установлено, что доломиты сложены суб- и эвгдральными кристаллами микромелкокристаллической (0,005—0,25 мм) размерности. На фоне кристаллической массы отмечаются реликты строматолитовых и водорослевых комковатых структур. Несмотря на перекристаллизацию, первичная седиментационная структура доломита устанавливается довольно отчетливо.

*Разнокристаллические доломиты* интенсивно перекристаллизованы, реликты первичной седиментационной структуры не сохранились. На микроскопическом уровне доломиты представлены эв- и субгдральными кристаллами микросреднекристаллической (0,005—0,5 мм) размерности. Иногда в шлифах отмечается послойное распределение кристаллов разных размеров: одни слои сложены микротонкокристаллическим (0,005—0,1 мм), другие — тонкосреднекристаллическим (0,1—0,5 мм) доломитом. На макроуровне отмечается аналогичная тенденция распределения слоев разной степени перекристаллизации. В последнем случае мощности «слоев» варьируют от 20 см до нескольких метров. В породах отмечено глинистое вещество, неравномерно распределенное в основной массе в виде прерывистых и линзовидных микрослоев, хаотических пятен или в межкристаллическом пространстве доломита.

Структурные разновидности известняков менее разнообразны: выделены строматолитовый и граноморфный типы.

*Строматолитовые известняки* представлены как ламинитами, так столбчатыми разновидностями. Текстуры пород сходны с таковыми строматолитовых доломитов, отмечаются седиментационные фенестральные структуры. Фенестры выполнены светло- и розовато-серым яснокристаллическим кальцитом с гематитом.

*Граноморфные известняки* сложены водорослевыми пелитоморфными комками и микротонкокристаллическими сгустками, интракластами и/или строматокластами. Сцементированы форменные элементы спаритовым кальцитом. Граноморфные известняки содержат до 25% глинистого вещества, неравномерно распределенного в основной массе породы в виде линз и карманов неправильной формы, включений в ядрах и межкристаллическом пространстве кристаллов кальцита.

### Главные типы рифейских карбонатных разрезов

По составу пород и их количественному соотношению выделены четыре основных типа разрезов рифейских отложений: доломитовый, терригенно-доломитовый, глинисто-доломитовый и терригенно-известняковый. При этом даже однотипные по составу породы в разных типах разрезов отличаются по структуре, точнее по количественным соотношениям пород с различной структурой, степени и характеру вторичных преобразований, следовательно, типом и величиной пустотного пространства. Наиболее распространены на месторождении доломитовый и терригенно-доломитовый типы разрезов.

*Доломитовый тип* сложен строматолитовыми, граноморфными, разнокристаллическими, реже микритовыми доломитами. Слои и линзы аргиллитов редкие и тонкие, терригенно-обломочного материала мало. Породы преобразованы в результате перекристаллизации, гипергенного выщелачивания, реже процессов окремнения. Развиты тектонические трещины.

Перекристаллизация отмечена во всех скважинах месторождения, вскрывших этот тип разреза. Ее интенсивность и распределение перекристаллизованных доломитов по разрезам скважин неодинаковы. Часто перекристаллизованные породы имеют послойное распределение, мощности слоев варьируют от 20 см до нескольких метров. В большинстве скважин отмечается более интенсивная перекристаллизация верхних частей разреза (15—30 м).

В некоторых скважинах вся толща пород затронута процессами карстования, каверны гипергенного выщелачивания отмечаются до глубины 100 м от поверхности венд-рифейского стратиграфического несогласия. Процессы гипергенного преобразования установлены как в граноморфных, так и в строматолитовых разностях, исключение — пелитоморфные доломиты.

В пределах Куюмбинского месторождения в разрезах данного типа развиты разные виды пустотного пространства. Так, в большинстве скважин отмечен трещинный тип пустотного пространства, однако в некоторых скважинах (например, Куюмбинская № 200) наряду с трещинным установлены трещинно-каверновый и каверново-трещинный типы.

Большинство пород доломитового типа рифейского разреза характеризуются низкими значениями открытой пористости — < 1,5% (рис. 2, а). Мода открытой пористости для пород с трещинным типом пустотного пространства составляет 0,95%, для пород с каверново-трещинным и трещинно-каверновым типами — 1,23%.

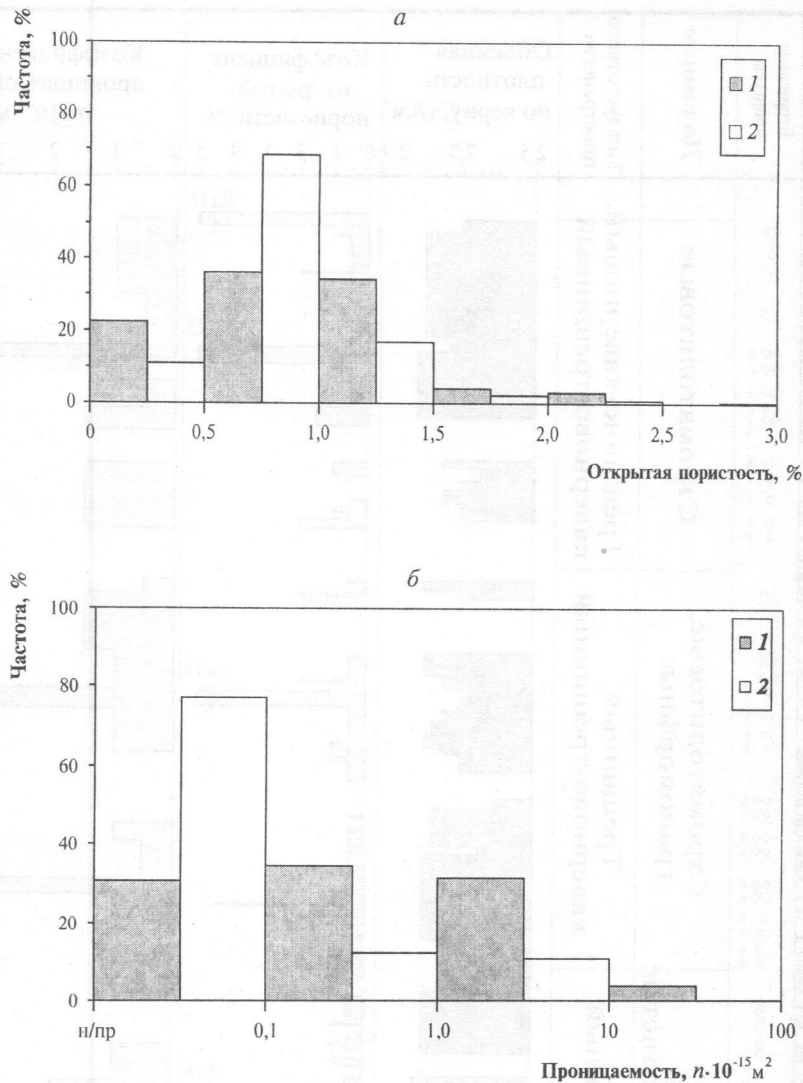


Рис. 2. Гистограммы распределения: а — открытой пористости; б — проницаемости пород доломитового рифейского разреза с разными типами пустотного пространства: 1 — трещинным (объем выборки 219); 2 — каверново-трещинным и трещинно-каверновым (объем выборки 102); н/пр — непроницаемые породы.

Большая часть доломитов (70%) с трещинным типом пустотного пространства — непроницаемые породы. При развитии в породах пустотного пространства каверново-трещинного и трещинно-кавернового типов увеличивается количество проницаемых доломитов (до 70%) (рис. 2, б).

*Терригенно-доломитовый тип разреза.* Карбонатная часть разрезов этого типа представлена стромаголитовыми и граноморфными доломитами, редко отмечаются пласты микритовых разностей мощностью < 1 м. В разрезе присутствует значительное количество пластов аргиллитов, алевролитов и песчаников мощностью от нескольких сантиметров до 5 м, что обуславливает его неоднородность (рис. 3). Доломиты содержат терригенный материал алевроитовой и песчаной размерностей, представленный в основном зернами кварца, реже полевых шпатов. В отдельных прослоях количество обломочного материала достигает 30%.

Установлено, что доломиты, содержащие алевроитовый и песчаный материал, в большинстве случаев более проницаемые, чем чистые доломиты. В

карбонатных отложениях этих разрезов развито пустотное пространство трещинного, каверново-трещинного и трещинно-кавернового типов. Доломиты интенсивно преобразованы вторичными процессами: перекристаллизацией, окремнением, гипергенным выщелачиванием. Установлены тектонические трещины.

Процессы перекристаллизации развиты в породах послойно: отмечаются слои (мощностью 1—5 м) в различной степени перекристаллизованных доломитов. Взаимосвязь между интенсивностью перекристаллизации и типами карбонатных пород не выявлена.

Рифейские образования интенсивно окремнены. В разрезе окремненные доломиты развиты послойно, мощности таких слоев варьируют от нескольких сантиметров до 7 м. Кремнистое вещество микротонкокристаллической структуры выполяет седиментационные и диагенетические пустоты в стромаголитовых доломитах, замещает основную доломитовую массу, реже образует желвакоподобные стяжения. В доломитах отмечаются

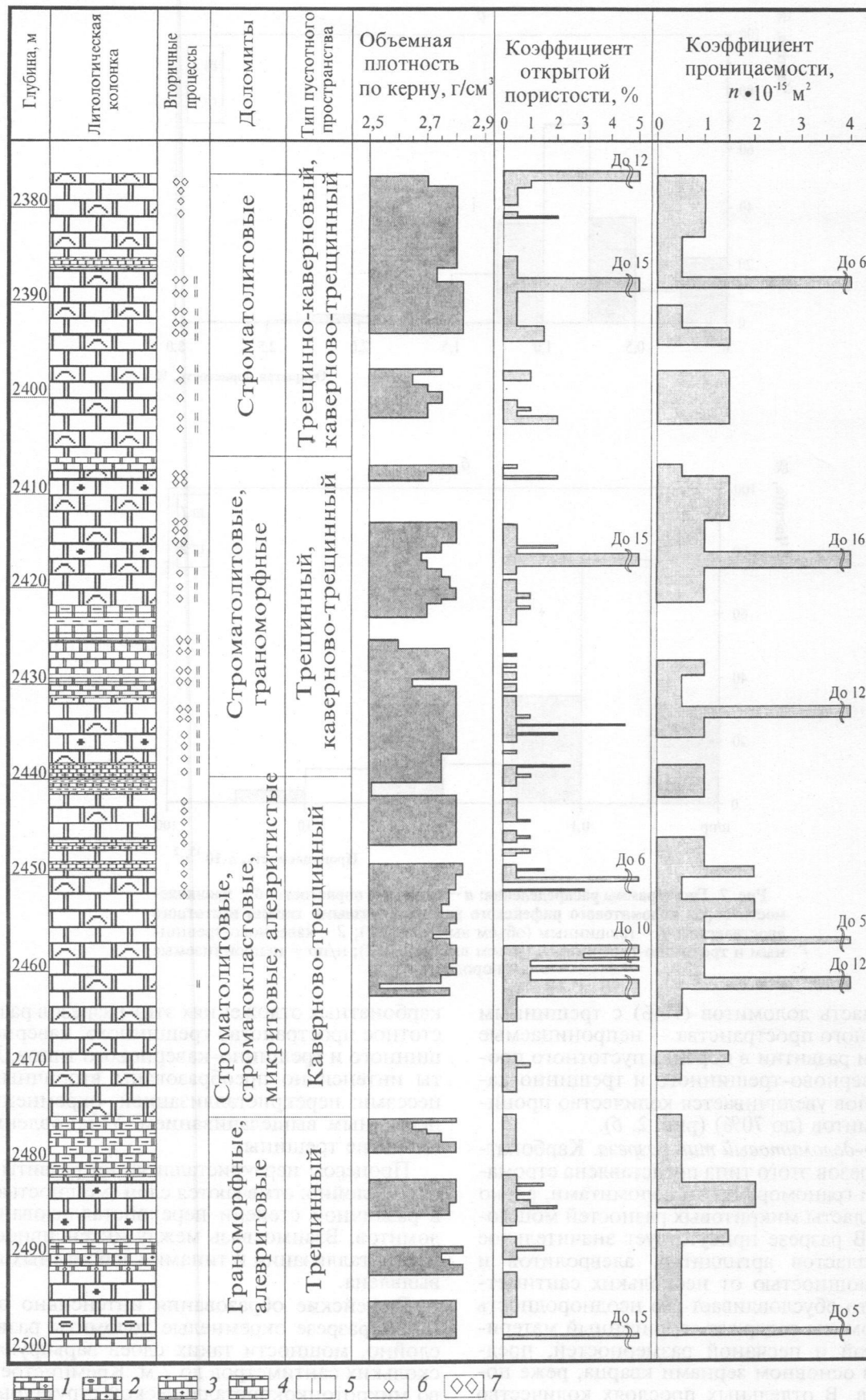


Рис. 3. Терригенно-доломитовый тип рифейского разреза: 1-4 - доломиты: 1 - оолитовые; 2 - интракластовые; 3 - с тонкими прослоями аргиллитов; 4 - микритовые; 5 - окремнение; 6 - 7 - перекристаллизация: 6 - незначительная; 7 - интенсивная; остальные усл. обознач. см. рис. 1

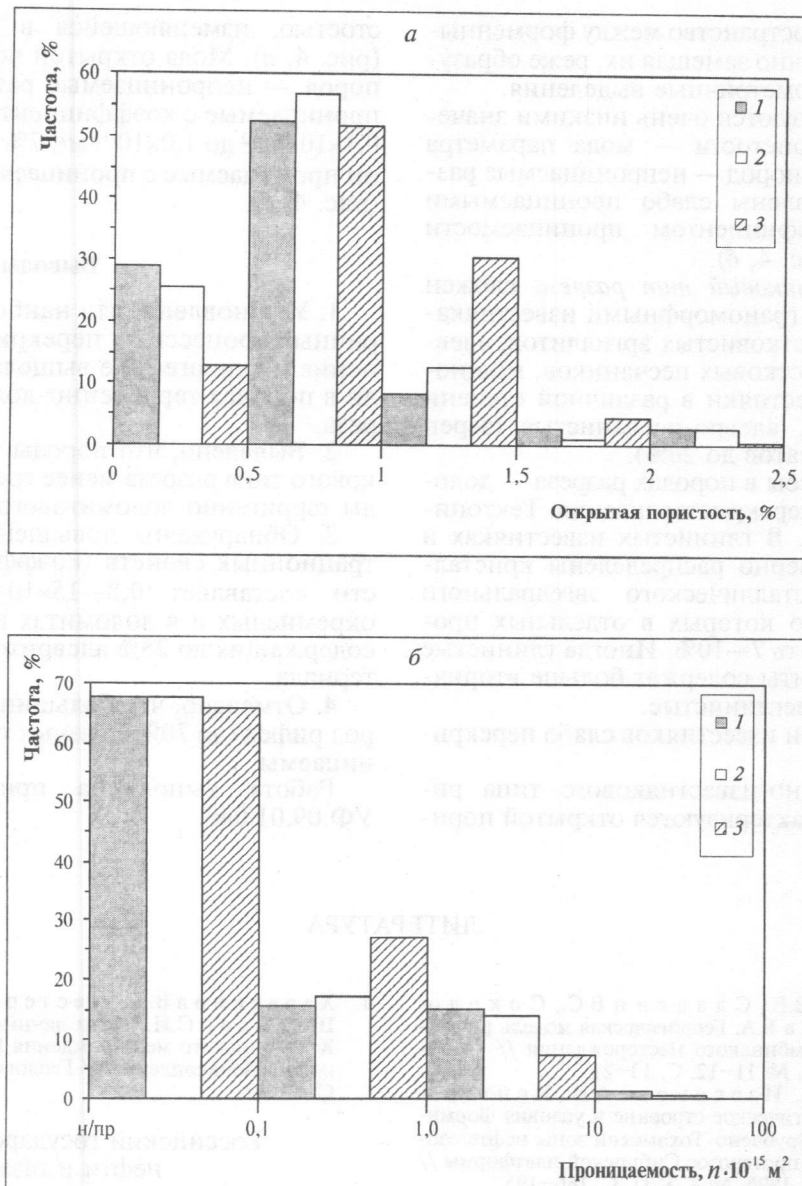


Рис. 4. Гистограммы распределения: а — открытой пористости; б — проницаемости пород разных типов рифейского разреза: 1 — терригенно-доломитового (объем выборки 507); 2 — глинисто-доломитового (302); 3 — терригенно-известнякового (381)

процессы гипергенного выщелачивания, которые привели к образованию каверн и трещин. В результате в рифейских отложениях встречаются прослойки сильно закарстованных доломитов, в которых выявлено значительное количество каверн разнообразных форм и размеров (0,2—60 мм). Часть таких каверн выполнена крупнокристаллическим доломитом, доломитом с гематитом, доломитом с пиритом, перетертым доломитовым веществом, глинисто-доломитовым материалом. Центральные части отдельных каверн и трещин не заполнены.

Породы (80%) терригенно-доломитового типа рифейского разреза характеризуются значениями открытой пористости до 1%; мода параметра 0,63% (рис. 4, а). Большая часть пород (68%) — непроницаемые разности (рис. 4, б).

Выявлено, что проницаемость кремнистых доломитов (коэффициент проницаемости  $1,2-3,7 \cdot 10^{-15} м^2$ ,

иногда  $17-133 \cdot 10^{-15} м^2$ ) выше, чем неокремненных ( $< 1,0 \cdot 10^{-15} м^2$ ). Высокая проницаемость кремнистых пород связана с микротрещиноватостью пород.

*Глинисто-доломитовый тип разреза* представлен чередованием пластов граноморфных битуминозно-глинистых, часто алевритистых доломитов, доломитовых мергелей и битуминозных доломитовых аргиллитов.

Породы слабо изменены вторичными процессами. Тектонических трещин мало. Доломиты содержат значительное количество глинистого материала, поэтому процесс перекристаллизации развит слабо. Первые 30 м разреза — перекристаллизованные доломиты, в которых сохраняется первичная седиментационная комковато-сгустковая структура.

Процессы кремнения развиты слабо и отмечаются лишь в глинистых граноморфных доломитах. Структура кремнистого вещества пелитоморфная или микрористаллическая. Часто кремнистое ве-

щество выполняет пространство между форменными элементами, частично замещая их, реже образует изолированные изометричные выделения.

Породы характеризуются очень низкими значениями открытой пористости — мода параметра 0,42% (рис. 4, а). 68% пород — непроницаемые разности; 17% представлены слабо проницаемыми разностями с коэффициентом проницаемости  $0,18-0,95 \times 10^{-15} \text{ м}^2$  (рис. 4, б).

*Терригенно-известняковый тип разреза* сложен строматолитовыми и граноморфными известняками с прослоями известковых аргиллитов, алевро-аргиллитов и известковых песчаников, мощностью 0,2—2,0 м. Известняки в различной степени глинистые (до 30%), алевро-песчанистые (зерен кварца и полевых шпатов до 20%).

Вторичные процессы в породах разреза — доломитизация и слабая перекристаллизация. Тектонических трещин мало. В глинистых известняках и аргиллитах неравномерно распределены кристаллы тонко-мелкокристаллического эвгедрального доломита, количество которых в отдельных прослоях может составлять 7—10%. Иногда глинистые известняки и аргиллиты содержат больше вторичного доломита, чем неглинистые.

Отдельные прослои известняков слабо перекристаллизованы.

Породы терригенно-известнякового типа рифейского разреза характеризуются открытой пори-

стостью, изменяющейся в диапазоне 0,5—1,5% (рис. 4, а). Мода открытой пористости 1,02%. 66% пород — непроницаемые разности; 27% — слабо проницаемые с коэффициентом проницаемости от  $0,1 \times 10^{-15} \text{ м}^2$  до  $1,0 \times 10^{-15} \text{ м}^2$ ; 7% — в различной степени проницаемые с проницаемостью до  $10,0 \times 10^{-15} \text{ м}^2$  (рис. 4, б).

### Выводы

1. Установлено, что наиболее интенсивно вторичные процессы — перекристаллизация, окремнение и гипергенное выщелачивание — протекали в породах терригенно-доломитового типа разреза.

2. Выявлено, что породы терригенно-известнякового типа разреза менее трещиноваты, чем породы терригенно-доломитового типа разреза.

3. Обнаружены повышенные значения фильтрационных свойств (коэффициент проницаемости составляет  $0,8-15 \times 10^{-15} \text{ м}^2$ ) в доломитах окремнелых и в доломитах песчано-алевритовых, содержащих до 25% алевритового и песчаного материала.

4. Отмечено, что большинство карбонатных пород рифея (до 70% в разных типах разрезов) непроницаемы.

Работа выполнена при поддержке гранта УФ.09.01.040.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Зиньковский В.Е., Славкин В.С., Соколов А.Н., Давыдова Е.А. Геологическая модель рифейского резервуара Куломбинского месторождения // Геология нефти и газа. 1999. № 11—12. С. 13—21.
2. Конторович А.Е., Изосимова А.Н., Конторович А.А. и др. Геологическое строение и условия формирования гигантской Юрубчено-Тохомской зоны нефтегазоаккумуляции в верхнем протерозое Сибирской платформы // Геология и геофизика. 1996. № 8. Т. 37. С. 166—195.
3. Кузнецов В.Г., Илюхин Л.Н., Постникова О.В., и др. Древние карбонатные толщи Восточной Сибири и их нефтегазоносность. М: Научный мир, 2000. 104 с.
4. Харахинов В.В., Нестеров В.Н., Соколов Е.П., Шленкин С.И. Новые данные о геологическом строении Куломбинского месторождения Юрубчено-Тохомской зоны нефтегазоаккумуляции // Геология нефти и газа. 2000. № 5. С. 33—41.

Российский государственный университет  
нефти и газа имени И.М. Губкина  
Аспирант  
Рецензент — А.А. Клевцова