

7. Guo L., Riding R. Microbial micritic carbonates in uppermost Permian reefs, Sichuan Basin, southern China: some similarities with Recent travertines // *Sedimentology*. – 1992. – V. 39. – № 1. – P. 37–53.
8. Freydet P., Plet A. Modern freshwater microbial carbonates: the *Phormidium* stromatolites (tufa-travertine) of southeastern Burgundy (Paris Basin, France) // *Facies*. – 1996. – V. 34. – P. 219–237.
9. Ананьев А.Р. О возрасте изыкской и шунетской свит по ископаемой флоре на северном склоне Батеневского кряжа // V науч. конф. Том. гос. ун-та, посвященная 350-летию г. Томска. Секция геологическая. – Томск, 27 ноября – 4 декабря 1954. – Томск: Тр. ТГУ, 1960. – Т. 146. – С. 5–28.
10. Бабин Г.А., Владимиров А.Г., Крук Н.Н., Сергеев С.А., Сеников Н.В., Гишпер А.С., Советов Ю.К. Возраст заложения Минусинских впадин (Южная Сибирь) // Докл. РАН. – 2004. – Т. 395. – № 3. – С. 367–370.
11. Бутвиловский В.В. Палеогеография позднего оледенения и голоцена Алтая: событийно-катастрофическая модель. – Томск: Изд-во ТГУ, 1993. – 253 с.
12. Карданова О.Ф., Сергеева С.Ф., Карташова Е.В. Марганец в термальной воде источников и хемогенных осадках из неё в районе Кихпиньского долгоживущего вулканического центра (КДВЦ) // Вулканизм и связанные с ним процессы: Матер. традиц. рег. науч. конф., посвященной Дню вулканолога. – Петропавловск-Камчатский, 30 марта – 1 апреля 2011. – Петропавловск-Камчатский: ИВиС, 2011. – С. 129–133.
13. Баженов В.А., Соколова М.Ф. Бернессит в травертинах Томской области // Вопросы генезиса эндогенных месторождений. Минералогия и геохимия. – Л: ЛГУ, 1988. – Вып. 7. – С. 157–163.
14. Петрова О.Е., Копылова Ю.Г., Мартынова Т.Е. Геохимические условия травертинообразования (на примере бассейна р. Тугояковка) // Известия Томского политехнического университета. – 2002. – Т. 305. – № 6. – С. 304–319.
15. Юдович Я.Э., Тетрис М.П. Основы литохимии. – СПб.: Наука, 2000. – 479 с.
16. Шнейдер Е.А., Зубкус Б.П. Стратиграфия нижне- и среднедевонских отложений Северо-Минусинской и Сыдо-Ербинской впадин // Матер. по геол. и полезным ископаемым Красноярского края / под ред. А.С. Аладышкина. Вып. 3. – Красноярск: Красноярское книжное изд-во, 1962. – С. 54–61.

Поступила 28.12.2012 г.

УДК 552.543

## СВЯЗЬ НЕФТЕНАСЫЩЕНИЯ КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ С ПРОЦЕССАМИ ФОРМИРОВАНИЯ ПУСТОТНОГО ПРОСТРАНСТВА (НА ПРИМЕРЕ ДРЕВНИХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ)

М.Н. Лемешко, Е.А. Жуковская\*, И.В. Варакина\*\*

Томский политехнический университет

E-mail: tiger15@sibmail.com

\*ООО «Газпромнефть-НТЦ», г. Санкт-Петербург

\*\*ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

Определены и охарактеризованы литогенетические типы венд-кембрийских отложений усть-кутского горизонта скважины В, кратко описаны условия их осадконакопления, проведена оценка нефтенасыщения пород по результатам люминесцентно-микроскопического анализа. При помощи специализированного программного обеспечения «Керн С7» по петрографическим шлифам выделено 3 интервала повышенной пористости. Рассмотрена связь нефтенасыщения с литогенетическими типами карбонатных пород, фильтрационно-емкостными свойствами и вторичными процессами преобразования отложений.

### Ключевые слова:

Доломиты, породы-коллекторы, литогенетические типы, усть-кутский горизонт.

### Key words:

Dolomite, reservoirs, lithogenetic types, Ust-Kut horizon.

Для прогноза распределения коллекторов в древних карбонатных отложениях Восточно-Сибирского региона необходимо всесторонне изучить все перспективные горизонты разреза. В северо-восточной части Непско-Ботубинской антеклизы находится скважина В, где одним из продуктивных горизонтов, вскрытых в интервале 1651,85–1731,01 м по стволу скважины, является усть-кутский горизонт тэтэрской свиты венд-кембрийского возраста. В целом горизонт имеет весьма неоднородное строение и неравномерное нефтенасыщение, в связи с этим была поставлена задача выделить зоны с повышенным нефтенасыщением, определить литогенетические типы пород, которые соответ-

ствуют этим участкам, оценить связь нефтенасыщения с вторичными процессами и проследить их изменчивость в разрезе. В ходе исследования были использованы материалы описания керна скважины и седиментолого-петрографического изучения пород, выполненные сотрудниками ИНГГ СО РАН Е.М. Хабаровым и И.В. Варакиной. Для оценки нефтенасыщения люминесцентно-микроскопическим анализом, сотрудниками лаборатории седиментологии ОАО «ТомскНИПИнефть» было изучено 85 пришлифовок керна.

Детальное макроописание керна позволяет проследить цикличность разреза, в нижней части каждого циклита, как правило, располагаются ма-

ломощные аргиллиты, в средней и верхней части – доломиты зернистые, реже глинистые. Породы в разной степени сульфатизированы, встречаются прослой доломит-ангидритовых пород и ангидрита. По разрезу участками отмечается окремнение и микростилолитизация.

По результатам петрографического анализа установлено, что изученные отложения представлены преимущественно карбонатными породами (доломитами), среди которых выделяются несколько литогенетических типов (по классификациям Е.М. Хабарова и Р. Данхема) [1]:

*Литогенетический тип А* – зернистые доломиты (грейнстоуны), подразделяются на более дробные типы в зависимости от состава и размера зерен ( $A_1$  – пизолито-оолитовые, комковато-пизолитовые,  $A_2$  – интракластовые, интракласто-оолито-пизолитовые) (рис. 1, а, б). В зависимости от размера зерен выделяются крупнозернистые (зерна 1...5 мм и более) и мелкозернистые (зерна <1 мм) разновидности.

Для крупнозернистых доломитов характерны массивные текстуры, в мелкозернистых встречаются параллельно-, косо- и волнистослоистые текстуры. Округлые образования – оолиты и разнообразные по форме пизолиты, состоят из более мелких зерен, окруженных единой водорослевой оболочкой, и типичны в данном типе пород. Чаще встречаются пизолиты, представляющие собой агрегаты сцементированных мелких комочков типа «виноградного камня». Ядра оолитов зачастую микритизированы и оконтурены одной, редко двумя–тремя концентрическими оболочками. Очевидно, что процесс микритизации оолитов в мелкозернистых комковато-оолитовых хорошо сортированных разновидностях широко развит.

В качестве интракластов выступают угловато-уплощенные обломки в основном микритовых или неяснокомковатых доломитов (длиной 0,2...5,0 мм), а в зернистых прослоях среди строматолитовых пород – строматолитовых ламин (строматокластами). В зернистых доломитах повсеместно наблюдается развитие раннедиагенетического тонкокристаллического крустификационного цемента. Окремнение в зернистых доломитах развито в виде пятен и линз, иногда подчеркивающих текстуру.

Породы данного литогенетического типа являются наиболее распространенным в усть-кутском горизонте, а среди них преобладают крупнозернистые доломиты (оолито-пизолитовые и интракласто-оолито-пизолитовые).

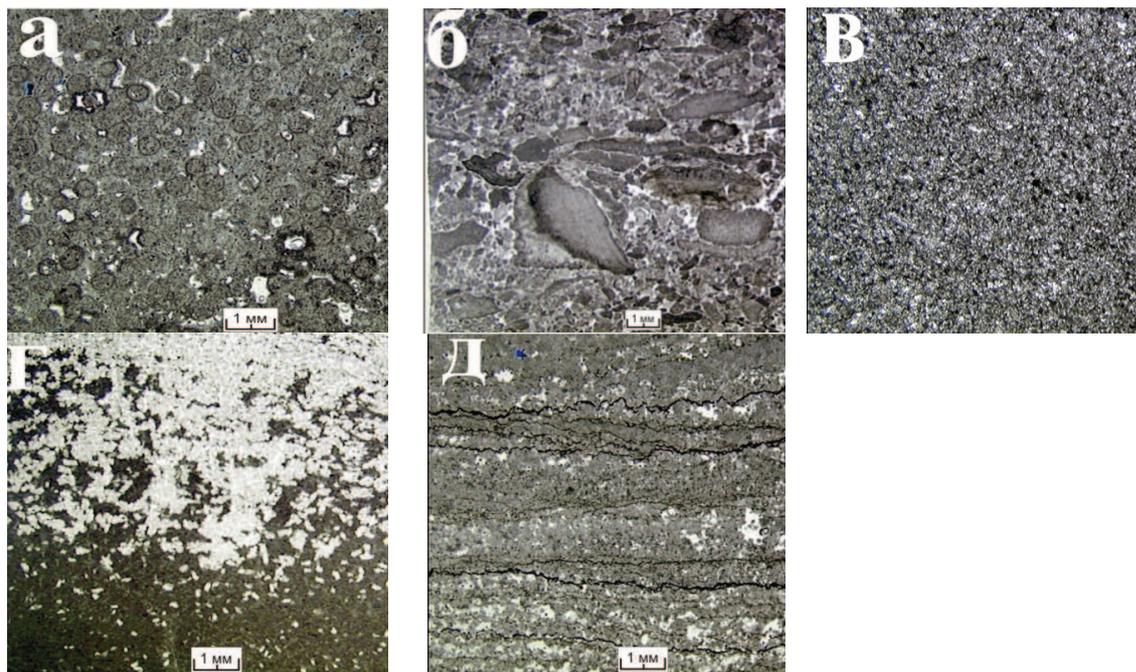
*Литогенетический тип В* – микритово-зернистые (пакстоуны) и микритовые (мад- или вакстоуны) доломиты характеризуются относительно типа А меньшим количеством зерен и значительным содержанием микрита (рис. 1, в). Текстуры микритово-зернистых доломитов микрослоистые. Слоистость горизонтальная, волнистая, линзовидная. В разрезе такие отложения присутствуют в виде маломощных прослоев. Микритовые доломиты – это серые породы, массивные, реже горизонталь-

нослоистые, часто в разной степени обогащенные глинистым веществом, с примазками и прослоями аргиллитов. В случае, когда содержание глинистого материала более 5 %, это уже глинистые доломиты, при содержании более 50 % – аргиллиты доломитовые. В усть-кутском горизонте микриты встречаются в виде заполнения межстолбикового пространства в строматолитах. Микритовые разновидности в основном приурочены к глинисто-карбонатным пачкам, где находятся в тонком переслаивании с глинистыми доломитами, аргиллитами и ангидритами. В микритовых доломитах участками отмечается послойное окремнение, ограниченное трещинами усыхания.

*Литогенетический тип В* – доломит-ангидритовые и глинисто-доломит-ангидритовые породы с разным соотношением слагающих их минералов (рис. 1, г). Зачастую наблюдается наличие идиоморфных таблитчатых, столбчатых и игольчатых кристаллов ангидрита, неравномерно распределенных в доломитовой массе, волокнисто-спутанных агрегатов ангидрита в виде линз и прослоев, а также округлых скоплений радиально-лучистого строения, возможно развитых при замещении оолитов. Встречаются такие породы в переслаивании с доломитами тонко- и мелкозернистыми.

*Литогенетический тип Г* – доломиты строматолитовые (баундстоуны). Текстуры биогенно-слоистые и стилолитовые по слоистости (рис. 1, д). Отмечаются как крупностолбчатые, так и пластовые (или диаметром столбиков свыше 10 см) строматолиты. По слоистости часто развиваются фенестровые поры и каверны шелевидной формы до 5 см по удлинению, нередко заполненные ангидритом и галитом. Наблюдается неравномерная перекристаллизация. Окремнение в строматолитах наблюдается в межстолбиковом пространстве. Встречается данный тип в верхней части усть-кутского горизонта, слагая строматолитовые постройки мощностью до 5,5 м.

В качестве коллектора нефти наибольший интерес представляет литогенетический тип А, зернистые породы которого сформировались в бассейне относительно нормальной солености в пределах изолированного шельфа (индивидуальные баровые тела), о чем свидетельствует практически полное отсутствие микритового заполнителя (матрикса) и относительно хорошая сортировка. Формирование прослоев, обогащенных интракластами, происходило при активном влиянии волнений и приливно-отливных течений. Барово-отмельные системы разделяют илистые отмели (литогенетический тип В). Строматолитовые постройки, также перспективные в качестве коллекторов, формировались в пределах среднего или мелкого шельфа, в приливно-отливных и надприливных обстановках с умеренным гидродинамическим режимом [2]. Смена режима осадконакопления контролировалась, по всей видимости, колебаниями уровня моря. В периоды существенного снижения уровня моря возникали условия эвапоритового осадконакопления с



**Рис. 1.** Фотоснимки шлифов пород усть-кутского горизонта: а) доломит оолитовый (литогенетический тип А-1); б) доломит зернистый (А-2); в) доломит микро-тонкокristаллический (Б); г) ангидрит-доломитовая порода (В); д) доломит сильно перекристаллизованный, первично строматолитовый (Г)

активным протеканием галогенеза сульфатной стадии с накоплением сульфатно-карбонатных пород.

В результате люминесцентно-микроскопического анализа было оценено нефтенасыщение пород всех выделенных литогенетических типов усть-кутского горизонта. Изучение пришлифовок пород в ультрафиолетовом свете под люминесцентным микроскопом показало, что практически все породы *содержат битумоиды* преимущественно смешанного генетического типа. По интенсивности свечения можно выделить два интервала с повышенным и высоким содержанием битумоидов:

- 1673,21...1693,50 м – преимущественно повышенное и **очень высокое** содержание смолистых и маслянисто-смолистых битумоидов. Здесь встречаются прослой пород, где битумоиды не обнаружены. Данный интервал сложен переслаиванием литогенетических типов А и Б. Наиболее высокие содержания отмечены в зернистых доломитах.

- 1707,6...1722,80 м – доломиты с повышенным и **очень высоким** содержанием битумоидов (особенно в верхней части интервала) преимущественно смолистого состава. Этот интервал представлен породами литогенетического типа А (доломиты зернистые и пизолито-оолитовые).

Остальные литогенетические типы пород содержат средние и низкие содержания битумоидов маслянисто-смолистого и смолистого, реже маслянистого состава.

Таким образом, состав битумоидов в пределах усть-кутского горизонта преимущественно смолистый, реже присутствуют маслянисто-смолистые (желтые), маслянистые (лимонно-желтые) и смо-

листо-асфальтеновые (темно-бурые). По всему разрезу преобладает утяжеленный состав битумоидов, которые сосредоточены в цементе, порах, реже в микростилолитовых швах.

По результатам анализа пористости карбонатных пород при помощи специализированного программного обеспечения «Керн С7» по петрографическим насыщенным синей полимерной смолой шлифам большого размера (3?5 см) в разрезе было выделено 3 интервала повышенной пористости. Два из них практически совпадают с интервалами с повышенным нефтенасыщением, а один интервал – 1652,01...1656,01 м, с низким нефтенасыщением в строматолитовом доломите (рис. 2).

Открытая пористость в зернистых породах в среднем составляет 0,41 %, редко достигая 2,2 %, в микроново-зернистом доломите пористость в среднем 0,03 %, в ангидрит-доломитовых разностях – 0,01 %. Максимальной пористостью характеризуются зернистые пизолито-оолитовые доломиты (литогенетический тип А-1).

Для карбонатных пород обычно принято выделять «первичную» пористость – пустоты, образующиеся во время седиментации, и «вторичную» пористость, возникшую в результате постседиментационных изменений. Однако интенсивное преобразование пород усть-кутского горизонта не дает возможности всегда однозначно дифференцировать пустоты на эти типы. Постседиментационные преобразования носят как унаследованный, так и наложенный характер и могут увеличивать первичное пустотное пространство за счет растворения или полностью «залечивать» седиментационные поры.



стигать 20...30 %, однако большая часть её утрачена из-за новообразования в поровом пространстве галита и ангидрита.

В строматолитовых доломитах также широко развиты пустоты растворения – крупные «щелевидные» (до 2...5 см по удлинению). Они ориентированы по слойкам и образовались, по-видимому, в результате растворения фенестровых полостей. Большинство таких пустот выполнено галитом, реже – ангидритом. Тем не менее, в строматолитовых доломитах открытая пористость достигает 10 %, однако в большинстве случаев не превышает 5 %.

Микритово-зернистые (сгустково-комковатые) породы обладают вторичной пористостью, связанной с процессами перекристаллизации и последующего растворения. Большую роль в них играют мелкие ( $\leq 0,2$  мм) поры перекристаллизации, участками встречаются более крупные поры от 0,3 до 1...3, редко 5 мм в длину, образованные за счет растворения наиболее перекристаллизованных зон. Галит в поровом пространстве данного литогенетического типа встречается редко, что связано с преобладанием изолированных пор маленького радиуса. Содержание открытых пор в этих породах не превышает 5 %.

Микритовые, часто глинистые, доломиты характеризуются очень низкой первичной пористостью, которую в процессе катагенетических преобразований они практически утратили. Это плотные, однородные породы, в которых практически отсутствуют все виды пустот.

Детальное исследование кернового материала позволило оценить влияние литологических факторов (седиментационных и постседиментационных) на формирование пористости и показало, что каждому выделенному типу пород свойственна своя структура пустотного пространства. В ходе исследования установлено, что суммарное содержание ангидрита до 10 % включительно не оказывает однозначно отрицательного влияния на пористость (рис. 3). Однако в породах литогенетических типов А и Б фиксируется четкая обратная зависимость битуминозности от количества ангидрита в доломите (рис. 4). Галит, развиваясь в порово-пустотном пространстве в количестве не более 15 %, не оказывает отрицательного влияния как на открытую пористость, так и на содержание битумоидов в породах литогенетического типа А.

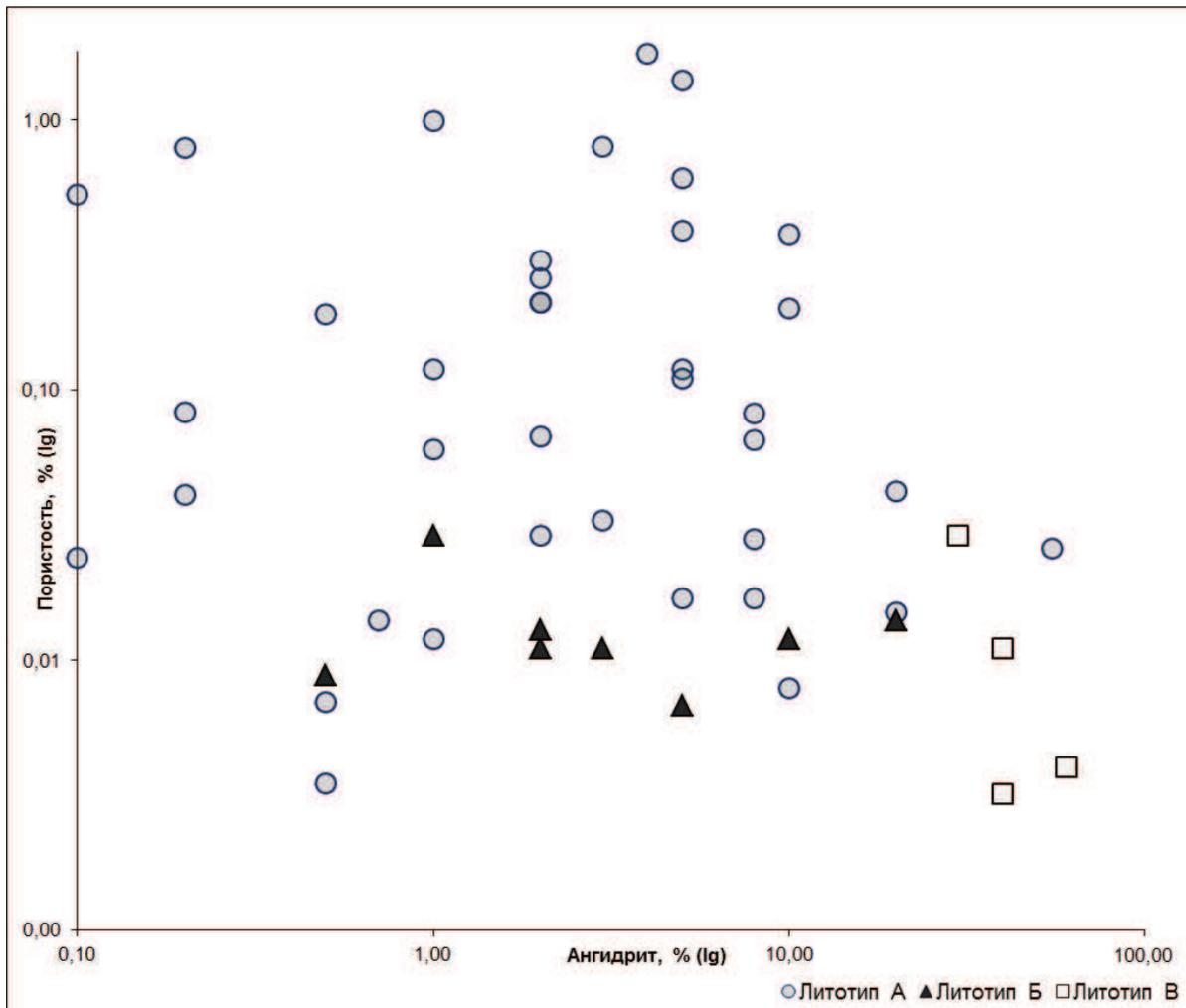


Рис. 3. Зависимость пористости от содержания ангидрита.

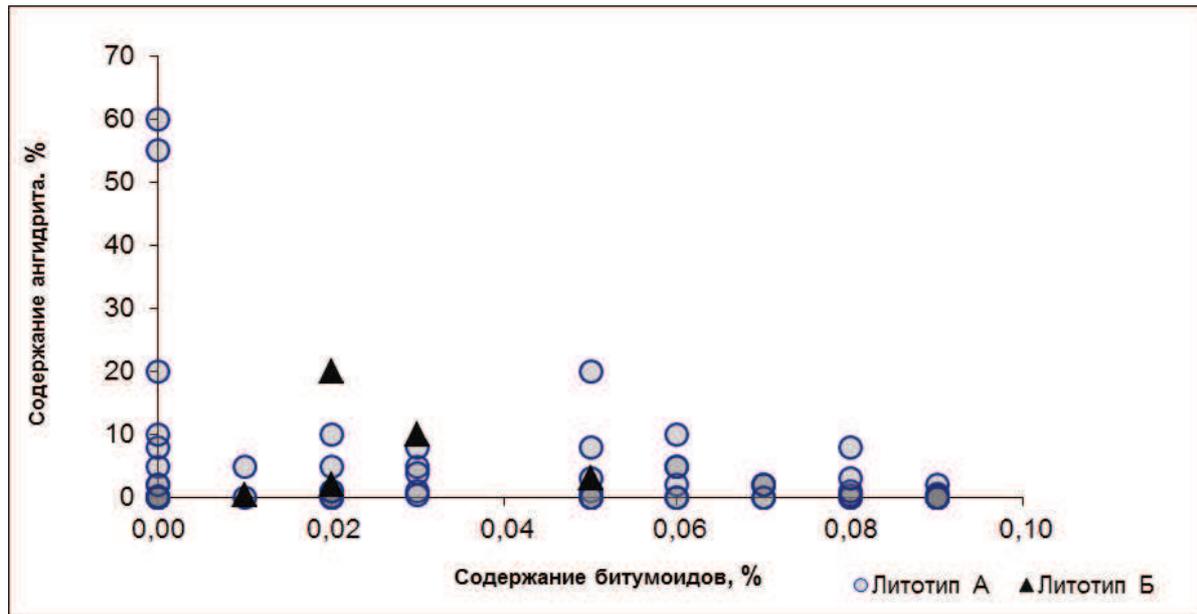


Рис. 4. Зависимость содержания битумоидов от ангидрита

Вышеперечисленные закономерности подтверждают выводы петрографического анализа в том, что пустотное пространство отложений усть-кутского горизонта отличается сложностью и неравномерностью распространения пор (остаточные седиментационные, перекристаллизации и растворения), каверн и трещин. В зернистых доломитах присутствуют все виды пустот, хотя преимущественное развитие имеют вновь образованные поры, частично или полностью залеченные галитом и ангидритом. Поскольку ангидрит можно отнести к «сквозным» минералам литогенеза, его влияние на открытую пористость имеет двойственный характер: с одной стороны в породах литогенетических типов Б и В за счет раннедиагенетического засоления он снижает пористость, в них наряду с этим отмечается незначительное содержание битумоидов, а с другой, он вместе с галитом лишь частично заполняет поры растворения, сохраняя открытое поровое пространство в породах с повышенным содержанием битумоидов.

Иной характер формирования пустотного пространства (пористости и каверн) наблюдается в строматолитовых породах. Преимущественно это вторичные пустоты, приуроченные к строматолитовой слоистости по фенестральным структурам, и частично залеченные вторичными минералами.

Таким образом, в отложениях усть-кутского горизонта наблюдается приуроченность более пористых и проницаемых интервалов к определенным литогенетическим типам пород – это зернистые, преимущественно пизолито-оолитовые, доломиты и строматолитовые доломиты. Основные предпосылки к образованию коллектора в карбонатных породах закладываются в процессе седиментации, на стадии диа- и катагенеза происходит перекристаллизация и растворение доломита с формированием вторичной пористости. В интервалах с повышенной открытой пористостью чаще всего отмечаются высокие содержания битумоидов смолистого состава. Битумоидами заполнены преимущественно мелкие ( $\leq 0,5$  мм) поры, а более крупные, как правило, частично выполнены галитом или ангидритом. Это доказывает, что неоднократное нефтенасыщение пород произошло после их перекристаллизации. С увеличением засоления доломитов их нефтенасыщение сокращается.

В связи с высокими перспективами нефтегазонасыщенности усть-кутского горизонта процессы формирования пустотного пространства требуют дальнейшего детального всестороннего изучения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хабаров Е.М. Сравнительная характеристика познедокембрийских рифогенных формаций. – Новосибирск: Наука, 1985. – 125 с.
2. Хабаров Е.М., Вараксина И.В. Строение и обстановки формирования мезопротерозойских нефтегазоносных комплексов запада Сибирского кратона // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52. – № 8. – С. 1173–1198.

Поступила 25.02.2013 г.