

УДК 552.578.061.4:551.72/.732.2(571.1)

Тумашов И.В.Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия, tumashoviv@gmail.com

ВЛИЯНИЕ ПОСТСЕДИМЕНТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ КОЛЛЕКТОРСКИХ СВОЙСТВ ВЕНД-НИЖНЕКЕМБРИЙСКИХ КАРБОНАТНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПРЕДЪЕНИСЕЙСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ СУБПРОВИНЦИИ

Рассмотрены постседиментационные преобразования венд-нижнекембрийских отложений, вскрытых параметрическими скважинами Восток-1,3,4 на территории Предъенисейской нефтегазонасной субпровинции, дана оценка их влияния на формирование пустотного пространства карбонатных коллекторов. Установлена зависимость между седиментационными особенностями карбонатных пород и степенью их постседиментационных изменений. На основании исследования были выявлены потенциальные коллекторы и флюидоупоры в венд-нижнекембрийском разрезе скважин.

Ключевые слова: венд-кембрий, карбонатные отложения, постседиментационные изменения, Предъенисейская нефтегазонасная субпровинция, Западная Сибирь.

Введение

На востоке Томской области и юго-западе Красноярского края в 2005-2008 гг. были пробурены параметрические скважины Восток-1, Восток-3 и Восток-4 (рис. 1). Скважины впервые для Западной Сибири вскрыли полный разрез верхнего венда и нижнего кембрия. Достоверные сведения о докембрийских отложениях в комплексе основания Западно-Сибирского мезозойско-кайнозойского мегабассейна до бурения скважин отсутствовали, вывод о широком развитии в восточных районах Томской области венд-палеозойских нормально-осадочных платформенных отложений базировался исключительно на анализе сейсмических материалов. Данные, полученные в результате бурения в совокупности с информацией по ранее пробуренным на смежной территории скважинам (Тыйская-1, Вездеходная-4, Лемок-1, Аверинская-150), позволили исследователям уточнить геологическую модель рассматриваемого региона, выделить ряд перспективных нефтегазонасных комплексов, изучить органическую геохимию рассеянного вещества и нафтидов, а также провести предварительную оценку углеводородного потенциала Предъенисейского верхнедокембрийско-палеозойского осадочного бассейна [Конторович и др., 2008а; Конторович и др., 2008б; Филиппов и др., 2010].

Однако, многие вопросы, связанные с анализом состава, строением, условиями осадконакопления, а также характером влияния седиментационных и постседиментационных

процессов на формирование коллекторских свойств отложений остаются в настоящее время ещё недостаточно разработанными и освещенными.



Рис. 1. Обзорная схематическая карта района исследования

Согласно современной схеме структурно-фациального районирования докембрийских и палеозойских отложений Западно-Сибирской геосинеклизы, территория исследования находится в структурно-фациальной мегазоне А, которая включает Тыйский и Вездеходный районы [Елкин и др., 2001]. На основании биостратиграфических и литологических исследований, сопоставления материалов ГИС и временных сейсмических разрезов специалистами ФГБУН ИНГГ СО РАН был предложен вариант стратиграфического расчленения и корреляции разрезов рассматриваемых скважин [Конторович и др., 2008а; Конторович и др., 2008б; Филиппов и др., 2010]. По этим представлениям, верхний венд скв. Восток-3 выделен в объеме пойгинской, котоджинской и райгинской свит. Нижний кембрий в скв. Восток-1, 3 представлен чурбигинской и пайдугинской свитами.

Нижнекембрийские отложения, вскрытые скв. Восток-4, сложены породами оксымской (бессолевого аналога уольской свиты), тыйской, аверинской и анцифировской свит (рис. 2).

В тектоническом плане скважины «Восток» расположены на территории Западно-Сибирской плиты в пределах Обской региональной ступени. Скв. Восток-1 размещена на восточном склоне Райгинского мегавыступа, Восток-3 - в пределах Северо-Владимировского куполовидного поднятия, Восток-4 - на территории Северо-Кетского свода.

Методика исследования и фактический материал

В результате проведенных литологических исследований был установлен преимущественно карбонатный состав вскрытого разреза. Исследования проводились на основании кернового материала скважин в объеме 542 м, кроме того, привлекались данные по каротажным диаграммам. Для более детального выяснения состава, а также структуры пород и постседиментационных изменений применялся оптический электронный микроскоп (> 700 шлифов). Литологическое описание карбонатных пород велось на основе классификации Е.М. Хабарова (1985). Для смешанных терригенно-карбонатных пород учитывалась схема И.В. Хворовой (1958), для известково-доломитовых пород схема С.Г. Вишнякова (1933). При описании песчано-алевритовых пород использовалась схема по составу обломочного материала, разработанная Ю.П. Казанским (1987). При описании степени окатанности обломочных компонентов применялась классификация, предложенная А.Б. Рухиным (1961). При описании морфологии различных типов цемента применялась классификация, описанная В.Н. Швановым (1987).

Характеристика фильтрационно-емкостных свойств пород проводилась на основании литологического исследования керна, описания шлифов, а также петрофизических данных. Информация по петрофизическим исследованиям была предоставлена специалистами лаборатории седиментологии ФГБУН ИНГГ СО РАН.

Строение, состав и постседиментационные изменения отложений

Оценка коллекторского потенциала карбонатных пород невозможна без анализа состава, строения и условий осадконакопления отложений, а также протекающих в них постседиментационных процессов.

В разрезах рассматриваемых скважин верхнекембрийские отложения представлены в объеме трех свит. В строении пойгинской и котоджинской свит преобладают карбонатные породы, преимущественно доломиты, среди которых выделяются биоморфные (пластово-строматолитовые), зернистые (микрофитолитовые, оолитовые, пизолитовые, комковатые, интракластические), микритовые и микритово-зернистые структурно-генетические типы.

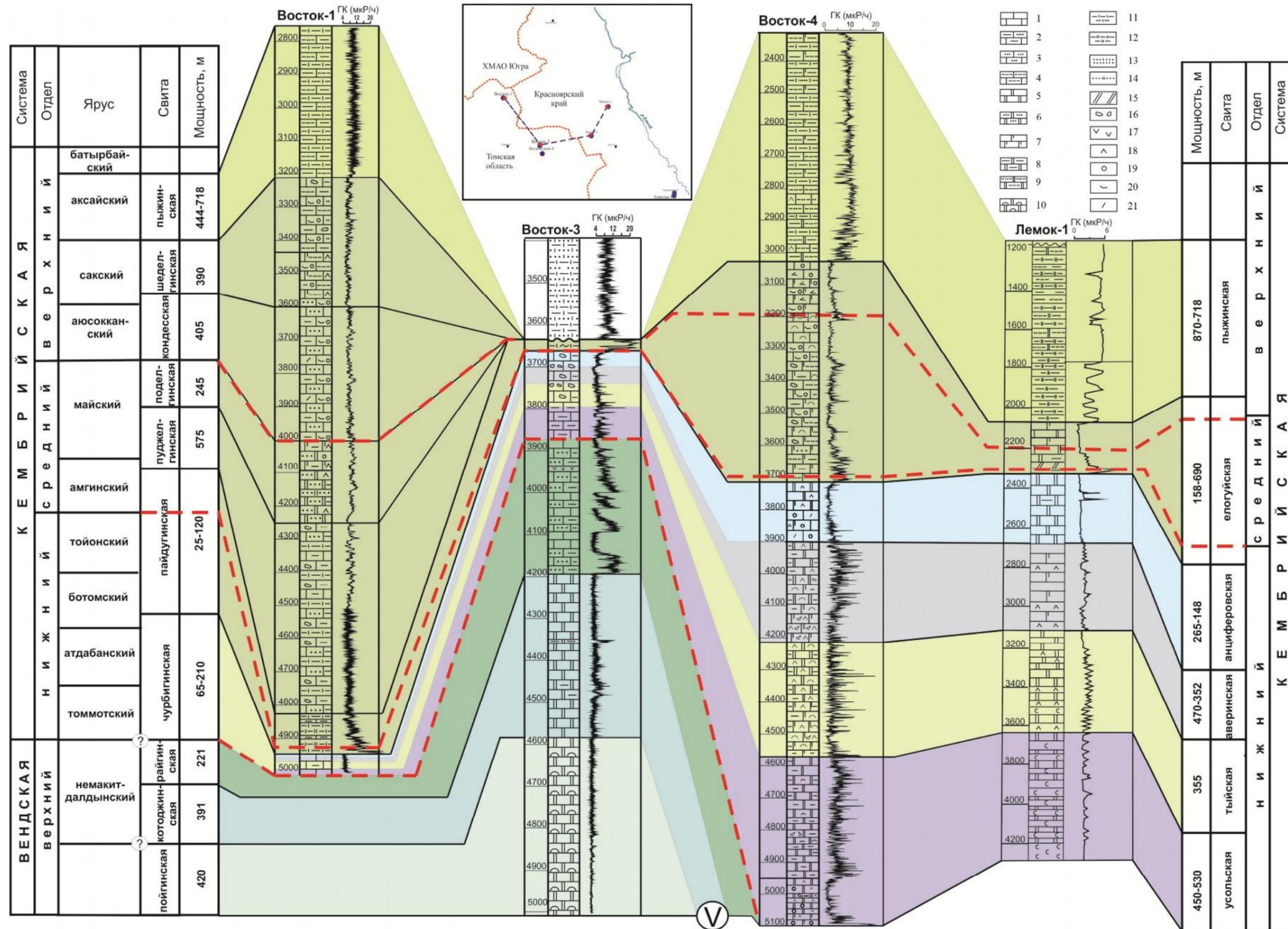


Рис. 2. Схема корреляции венд-кембрийских отложений юго-восточной части Западно-Сибирской плиты (скв. Восток-1, Восток-3, Восток-4 и Лемок-1)

(по А.Э. Конторовичу и др., 2001, 2008, 2009, с дополнениями автора).

1 – известняки; 2 – известняки глинистые; 3 – известняки песчанистые; 4 – известняки песчано-алевритистые; 5 – доломиты; 6 – доломиты песчанистые; 7 – известково-доломитовые породы; 8 – доломиты глинистые; 9 – доломиты строматолитовые; 10 – аргиллиты, алевро-аргиллиты, известковистые; 11 – аргиллиты, алевро-аргиллиты, доломитистые; 12 – песчаники известковистые; 13 – песчаники доломитистые; 14 – мергели; 15 – седиментационные будинаж, брекчирование; 16 – долериты; 17 – ангидрит; 18 – оолиты; 19 – раковинный детрит; 20 – интракласты.

Райгинская свита характеризуется ритмичным строением и сложена известковыми породами с примесью силикокластического материала. Нижнекембрийские отложения выделены в объеме шести свит. Чурбигинская и пайдугинская свиты, соответственно, представлены переслаиванием микритовых известняков с пиритсодержащими глинисто-карбонатными и карбонатно-глинисто-кремнистыми породами с высоким содержанием углеродистого вещества ($\text{Corg} \sim 2,2\%$). В основании оксымской свиты залегают сильно кавернозные и пористые микрофитолитовые доломиты, которые вверх по разрезу сменяются ангидрит-доломитовыми брекчированными и тонкослоистыми глинисто-доломитовыми породами. Тыйская свита сложена ангидрит-глинисто-карбонатными породами, часто с признаками седиментационной нарушенности, и микрит-микробиальными ангидритовыми известняками. Нижняя часть аверинской свиты представлена ангидрит-карбонатными брекчиями, которые вверх по разрезу переходят в ангидритизированные микрит-микробиальные слоистые и строматолитовые известково-доломитовые породы. Завершает нижнекембрийский разрез анциферовская свита, которая характеризуется чередованием микритовых, микритово-зернистых, зернистых зачастую ангидритизированных доломитовых известняков и доломитов.

Анализ пространственно-временных взаимоотношений литологических комплексов показал, что осадконакопление на исследуемой территории в венд-нижнекембрийское время происходило в широком диапазоне обстановок мелководного карбонатного шельфа, от супралиторали до глубоко погруженной его части [Тумашов, 2011].

Различные условия седиментации и интенсивность проявления вторичных изменений зачастую обуславливают неоднородное строение карбонатных коллекторов, при этом на формирование и сохранение фильтрационно-емкостных свойств определяющее влияние оказывают постседиментационные преобразования. Часть из них способствует увеличению объема пустот, размера и сообщаемости поровых каналов. Другие, напротив, приводят к уничтожению первичной седиментационной пористости и ухудшают проводимость поровых каналов за счет процессов аутигенного минералообразования. Проведенные автором исследования показали, что отложения, достаточно сильно переработаны вторичными процессами, к которым относятся перекристаллизация, выщелачивание, окремнение, ангидритизация, стилолит- и трещинообразование.

Перекристаллизация

Перекристаллизация карбонатных отложений в венд-нижнекембрийском разрезе скважин проявилась весьма широко. Интенсивнее всего этот процесс протекал в породах, где

доминируют зернистые и биоморфные типы карбонатных пород (пойгинская, котоджинская, райгинская, оксымская, аверинская и анциферовская свиты).

Для строматолитовых доломитов венда и нижнего кембрия (пойгинская и оксымская свиты) в основном характерна унаследованная послойная перекристаллизация, когда первичная текстура определяется различными размерами кристаллов в отдельных микрослойках. На этом фоне часто появляются удлиненные участки крупнокристаллических агрегатов перекристаллизации более позднего этапа (рис. 3А). В некоторых случаях породы практически утратили первичную структуру и представлены яснокристаллическими разновидностями, в которых от микритовых слойков остались лишь реликты в виде тонких «штрихов» (рис. 3Б). В породах оксымской свиты фиксируются колонии сине-зеленых водорослей со сгустковой микроструктурой. Здесь устанавливаются признаки пятнистой и прожилково-пятнистой перекристаллизации. Часто пространство между колониями водорослей сложено яснокристаллическим кальцитом (рис. 3В).

Особенностью перекристаллизации зернистых типов является развитие сравнительно равномернoзернистых тонко-мелкокристаллических агрегатов, стирающих первичные структурные признаки отложений. От форменных элементов в большинстве случаев сохраняются лишь «теньевые» реликты (рис. 3Г). Перекристаллизация внутри зерен оолитов развивается обычно от центра к периферии, поэтому чаще всего отмечается замещение спаритом центральных частей оолитов (рис. 3Д). Кроме перекристаллизации в некоторых образцах наблюдается микритизация (грануляция) оолитов (рис. 3Е). При общей микритизации оолит превращается в комок из плотного мелкокристаллического карбоната и полностью теряет концентрическое строение. Для микрофитолитовых доломитов характерна неоднородная перекристаллизация цемента и зерен, которая носит избирательный характер. В итоге порода в шлифе приобретает кружевную структуру. Узоры образованы реликтами микритовых оболочек форменных элементов на фоне прозрачного тонкокристаллического новообразованного доломита. В большинстве случаев наблюдается отставание перекристаллизации форменных компонентов от матрикса.

Микритовые доломиты сравнительно с другими типами пород в меньшей степени затронуты процессом перекристаллизации. Это хорошо заметно в пакетах переслаивания их с зернистыми и строматолитовыми доломитами. Для микритовых типов характерна микроглазковая и пятнисто-прожилковая перекристаллизация.

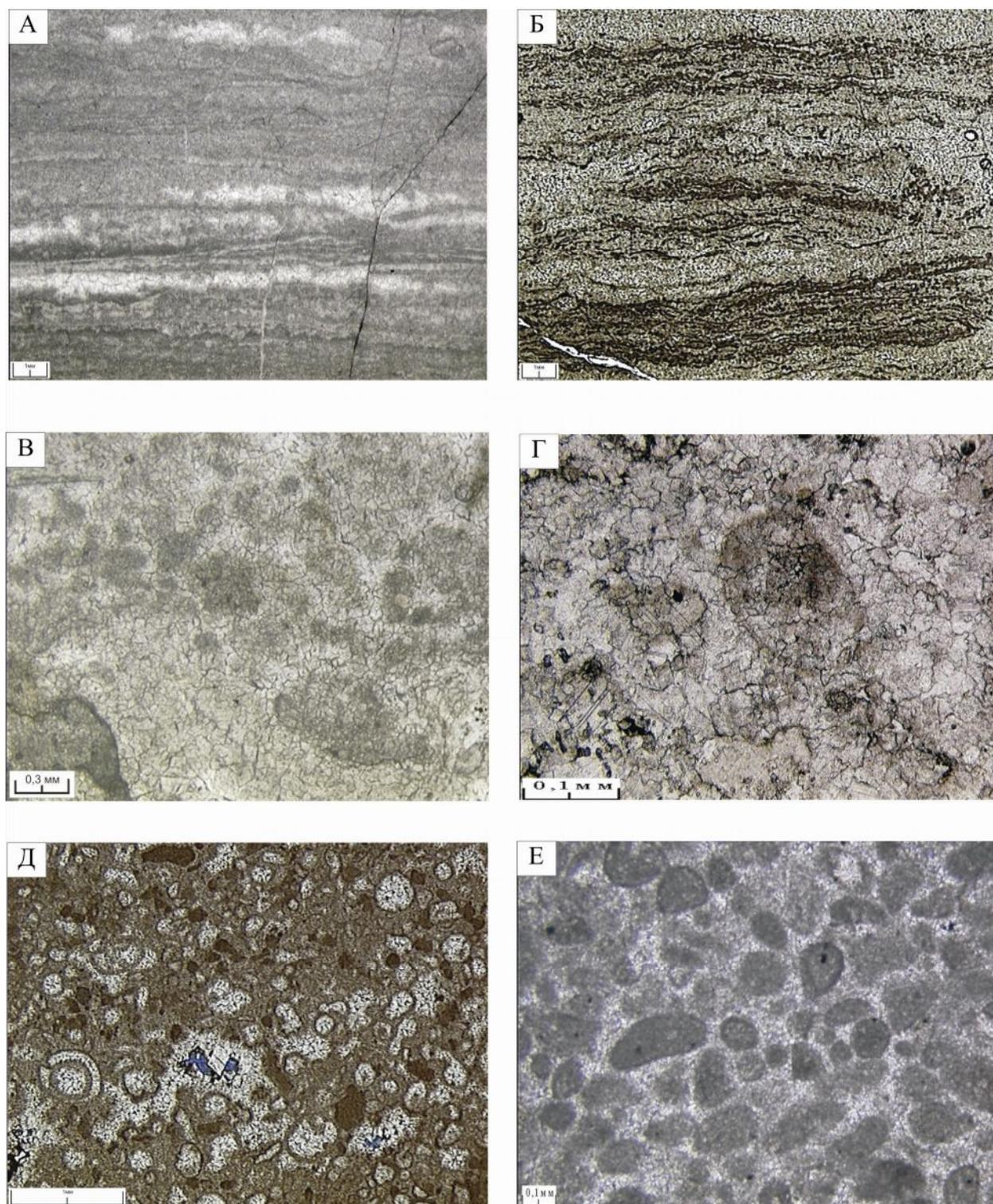


Рис. 3. Перекристаллизация карбонатных отложений

А - унаследованная послойная перекристаллизация в строматолитовых доломитах (пойгинская свита, скв. Восток-3); Б - реликты микритовых слоев в виде тонких «штрихов» в строматолитовых доломитах (пойгинская свита, скв. Восток-3); В - интенсивная перекристаллизация водорослевого доломита, практически с полной утратой первичной структуры (оксымская свита, скв. Восток-4); Г - перекристаллизованный, первично зернистый известняк, с сохранившимся контуром оолита (райгинская свита, скв. Восток-3); Д - перекристаллизация внутри зерен оолитов, замещение спаритом центральных частей (котоджинская свита, скв. Восток-3); Е - микритизация (грануляция) оолитов (пойгинская свита, скв. Восток-3).

Весьма слабо протекали процессы перекристаллизации в терригенно-карбонатных породах. Для пород с большим содержанием глинистого материала характерна рассеянная перекристаллизация с возникновением отдельных более крупных кристаллов доломита на фоне глинисто-карбонатного агрегата. В более чистых разновидностях глинистое вещество в результате перекристаллизации часто вытеснено на контакты и в поры между кристаллами, а также концентрируется в мелких линзочках, в стилолитах и в реликтах водорослевых образований.

Выщелачивание

Пустоты выщелачивания в карбонатных породах зачастую возникают еще на ранней стадии диагенеза. Поры и каверны раннедиагенетического выщелачивания относятся к первичным [Марьенко, 1978]. Форма вторичных пустот выщелачивания определяется строением пород. В строматолитовых доломитах они, как правило, удлинённые, вытянутые по слоистости, а в зернистых – округло-изометрические. Размер наблюдаемых вторичных пустот в исследуемых отложениях колеблется от 0,05 до 10 мм и более.

В строматолитовых породах часто отмечаются «фенестры», структуры образованные в процессе высыхания на затопляемых приливами зонами прибрежных равнин, где чередуются затопление и максимальное осушение [Уилсон, 1980]. В дальнейшем фенестральные пустоты были заполнены крупнокристаллическим доломитом и именно с ними связаны участки более поздней пятнисто-прожилковой перекристаллизации (рис. 4А). В центральных частях перекристаллизованных участков фиксируются межкристаллические поры, размер которых обычно меньше размеров кристаллов. Они соединяются очень тонкими (<10 мкм) извилистыми межкристаллическими каналами, которые при благоприятных условиях могли способствовать проникновению в породы подвижных флюидов, за счет чего происходило последующее выщелачивание. Таким образом, вторичные пустоты выщелачивания в строматолитовых типах пород носят унаследованный характер и приурочены к центральным частям фенестральных структур (рис. 4Б, В).

В зернистых типах пород широкое распространение получили вторичные поры и каверны выщелачивания (котоджинская и оксымская свиты). Они приурочены к наиболее перекристаллизованным участкам. Также, выщелачиванию подверглись центральные части оолитов (рис. 4Г). Форма каверн сложная, обычно формируется густая сеть микротрещинок, соединяющих каверны между собой и обеспечивающая проницаемость пород. Общая пористость и кавернозность в отдельных участках достигает 50% и доломиты приобретают ноздреватый облик (оксымская свита).

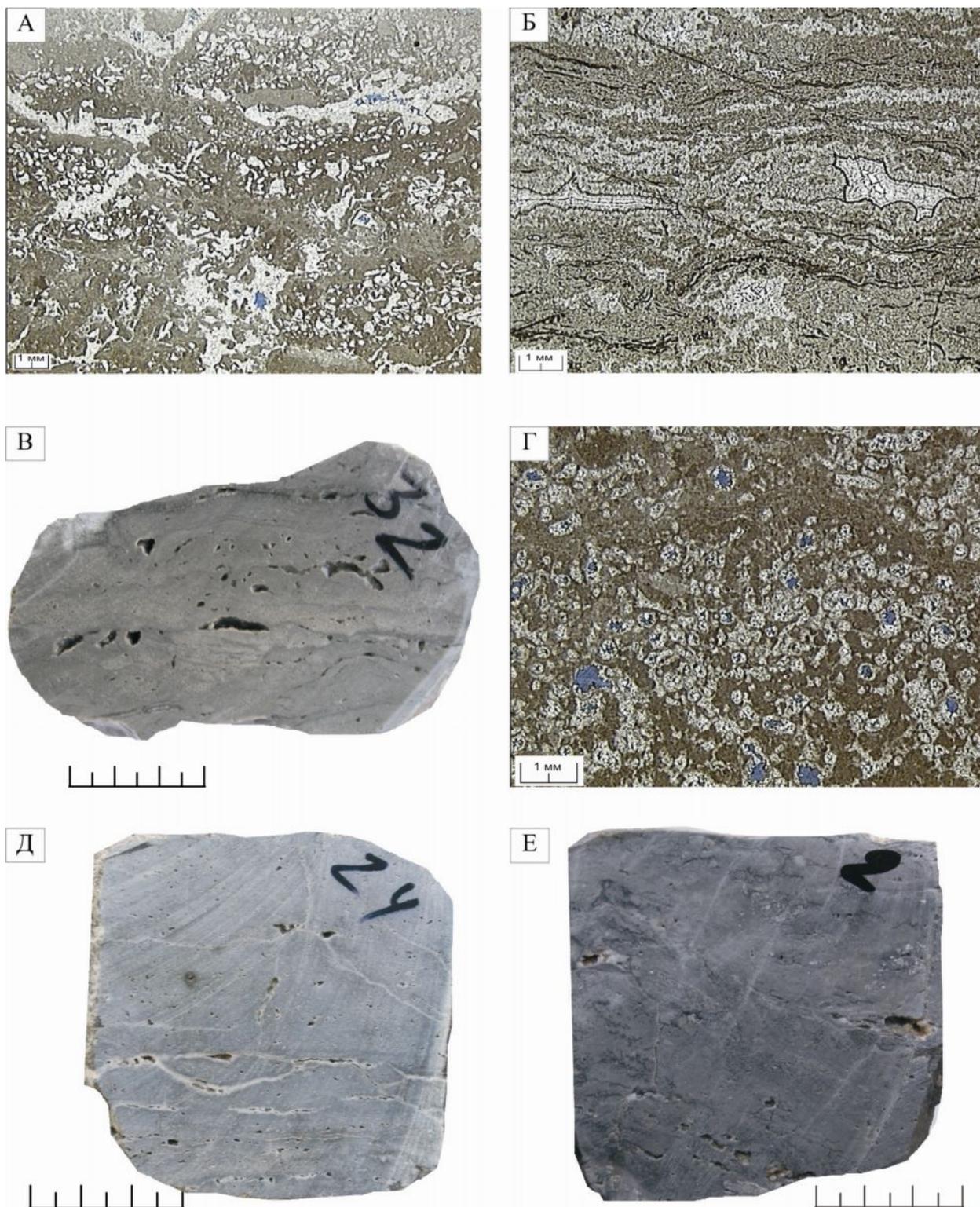


Рис. 4. Вторичные процессы выщелачивания

А - пятнисто-прожилковая перекристаллизация, связанная с фенестральными пустотами в строматолитовых доломитах (синим цветом покрашены поры; пойгинская свита, скв. Восток-3); *Б* - вторичные пустоты выщелачивания, приуроченные к центральным частям фенестральных структур строматолитовых доломитов (пойгинская свита, скв. Восток-3); *В* - крупные каверны и поры выщелачивания в строматолитовых доломитах (пойгинская свита, скв. Восток-3); *Г* - выщелачивание центральных частей оолитов в зернистых доломитах (котоджинская свита, скв. Восток-3); *Д*, *Е* - поры и каверны выщелачивания вдоль макро- и микротрещин в зернистых доломитах (котоджинская свита, скв. Восток-3).

Чаще встречаются породы с кавернозностью и пористостью от первых до 10%. Размер каверн, как правило, составляет от первых мм до 10 мм. Каверны и поры имеют неровную внутреннюю поверхность, обусловленную выступающими крупными кристаллами доломита. Часто в участках наибольшей кавернозности отмечается мелкие сгустковые выделения углеродистого вещества. Гораздо большее значение в общем балансе емкости коллекторов имеют вторичные пустоты выщелачивания, образованные по трещинам и стилолитам (рис. 4Д, Е).

Трещиноватость и стилолитизация

Наибольшей трещиноватостью обладают строматолитовые и зернистые типы карбонатных пород. Присутствуют микро- и макротрещины, открытые и закрытые. Открытые микротрещины в основном горизонтальные и наклонные, часто образуют сеть и обеспечивают сообщаемость вертикальных макротрещин. Открытые макротрещины зачастую развиты очень широко (пойгинская и котоджинская свиты). Вдоль макро- и микротрещин отмечаются многочисленные пустоты выщелачивания, что приводит к сильному изменению их раскрытости (рис. 5А, Б).

Среди закрытых трещин преобладают трещины, выполненные глинистым или глинисто-органическим веществом, как правило, горизонтальные. Они имеют незначительную протяженность и небольшую ширину (от 5 до 20 мкм). В зернистых доломитах они слабо извилистые, огибают форменные компоненты и часто имеют незначительную протяженность и затухают в пределах отдельных слоев (шлифа). В строматолитовых доломитах проходят по границам микрослойков.

Среди трещин, выполненных доломитом, кальцитом и ангидритом, преобладают вертикальные и наклонные, ширина и протяженность которых непостоянна. Более редкие горизонтальные трещины часто осложнены многочисленными короткими ответвлениями. Иногда во внутренней части наиболее крупных разновидностей фиксируются признаки вторичного раскрытия (см. рис. 5Б).

Кроме того, в нижнекембрийских отложениях (оксымская свита) отмечается специфическая трещиноватость характерная «збровым» карбонатных породам [Уилсон, 1980]. Трещины зачастую ориентированы параллельно, реже косо к наслоению. Подобная ориентировка связана с процессом сокращения объема и последующим растрескиванием пород.

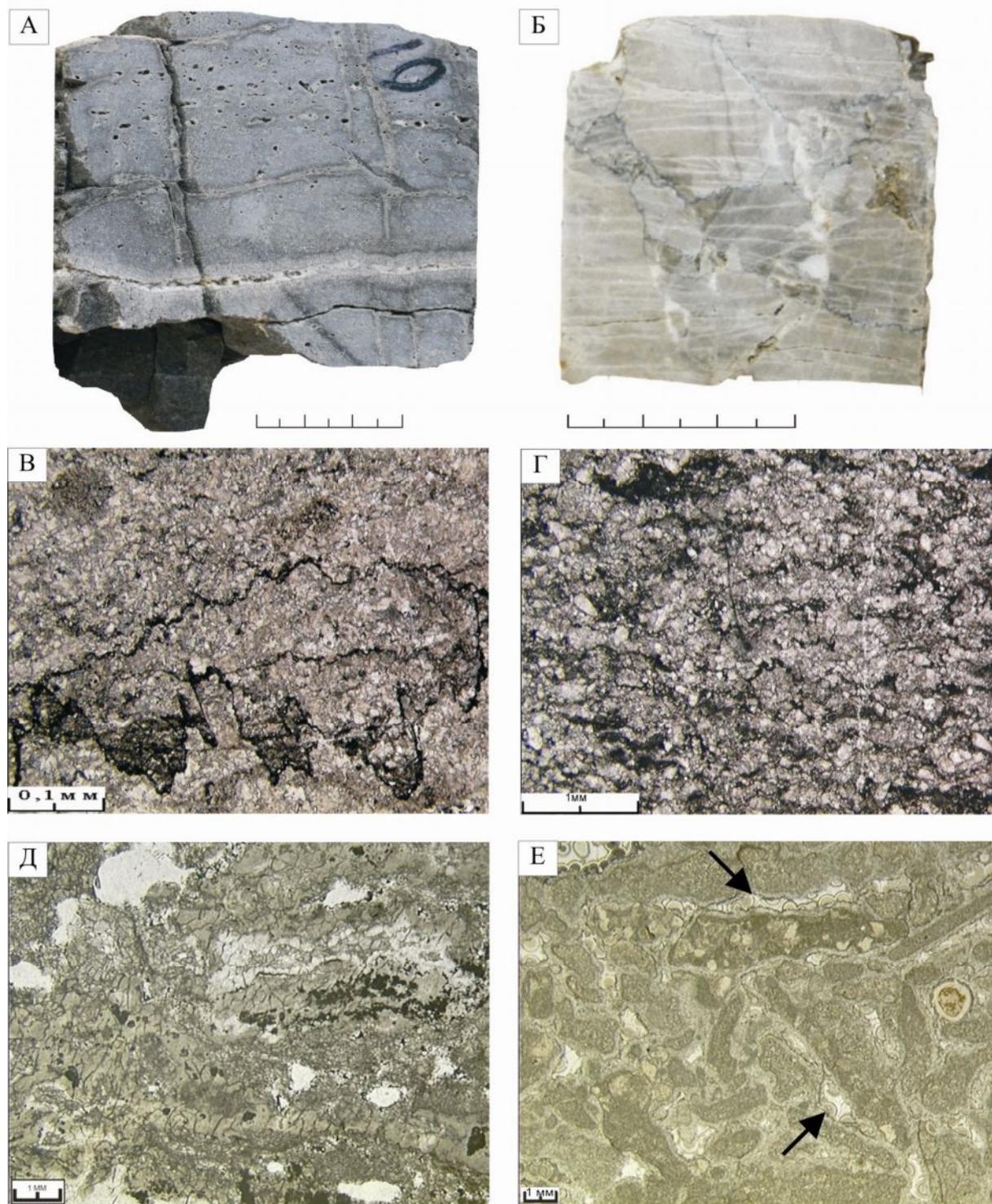


Рис. 5. Трещины, стилолиты и окремнение карбонатных пород

А, Б - открытые макротрещины, вдоль которых развиваются вторичные пустоты выщелачивания в зернистых и микритово-зернистых известковых доломитах (А - пойгинская свита, скв. Восток-3; Б - оксымская свита, скв. Восток-4); В - слабо бугорчатые (вверху) и зубчатые (внизу) типы стилолитовых швов, выполненных черным углеродистым веществом, в перекристаллизованных, первично зернистых доломитах (котоджинская свита, скв. Восток-3); Г - стилолиты с высокой концентрацией органического вещества (черное) (котоджинская свита, скв. Восток-3); Д - кремнистое вещество развивается по строматолитовым слойкам (оксымская свита, скв. Восток-4); Е - агатоподобный халцедон (стрелки) в тонко-мелкокристаллическом доломите (оксымская свита, скв. Восток-4).

Также, трещиноватость наиболее ярко проявилась в ангидрит-известково-доломитовых брекчиях аверинской свиты. Трещины наклонные и субгоризонтальные. Они образовались в результате растрескивания плотной матрицы под действием тектонических нарушений. Однако, в большинстве случаев трещины полностью заполнены ангидрит-карбонатно-глинистым веществом.

К особой группе трещин растворения под давлением относят стилолиты [Багринцева, 1982]. Они встречаются по всему разрезу, но наиболее часто в доломитовых породах. Отмечаются как зачаточные слабо бугорчатые типы, так и хорошо выраженные стилолитовые швы с амплитудой до 10 мм, расположенные субпараллельно слоистости (рис. 5В). Зачастую стилолиты выполнены глинистым, глинисто-органическим веществом, иногда с примесью гидроокислов железа и алевритового материала. Поскольку стилолитовые швы представляют собой ослабленные зоны, то по ним часто развиваются открытые микротрещины более позднего времени с вторичными пустотами выщелачивания, которые улучшают фильтрационно-емкостные свойства пород.

Особое внимание заслуживает широко развитая стилолитизация в котоджинской свите. Стилолиты и связанные с ними каверны часто выполнены углеродистым веществом. Общее содержание переотложенного углеродистого вещества по петрографическим данным может достигать в отдельных участках (самая верхняя часть свиты) 3-4% (рис. 5Г).

Окремнение

Окремнение широко развито в отложениях нижнего кембрия (чурбигинская, пайдугинская, оксымская, тыйская свиты).

В породах пайдугинской свиты кремнистые микрожелваковые конкреции развиваются по остаткам кремнистых организмов. Зачастую обособления кремнистого вещества происходит в виде мелких линзочек микрокристаллического строения, длиной 0,3-0,4 мм и толщиной 0,01-0,02 м.

В «строматолитах» конкреции кремней, как правило, вытянуты по слоистости (оксымская свита). Контакт конкреций с вмещающей карбонатной массой может быть четкий и резкий или расплывчатый с постепенными переходами. Кремнистые образования могут развиваться по отдельным микрослойкам строматолитов, но чаще они образуют согласные со слоистостью прерывистые линзы и прослои, в которых сохраняются текстурные особенности пород (рис. 5Д).

Кремнистые выделения неправильной формы отмечаются, главным образом, среди пятнистых неравномерно перекристаллизованных доломитов. «Кремнезем» замещает более

перекристаллизованные участки пород, которые часто имеют комковатое или неясно ступковое строение, и образует светлые пятна причудливых «узорчатых» очертаний. Кроме того, встречаются кремневые конкреции с отчетливым концентрическим строением, внутри которых заключены частично перекристаллизованные реликты сине-зеленных водорослей.

Также, для пород характерны многослойные выделения халцедона и кварца, выполняющие каверны. Часто по периферии пустот развивается мелкокристаллические агрегаты кварца, а остаточное пустотное пространство выполнено халцедоном (рис. 5E).

Необходимо отметить, судя по сохранившимся текстурам пород и огибанию кремниевых конкреций слоев окружающего осадка, окремнение началось еще в раннем диагенезе. Более поздняя генерация представлена халцедоном и тонко-мелкокристаллическим кварцем, которые выполняют поры, каверны и трещины. Зачастую, вблизи зон окремнения наблюдается повышенная трещиноватость вмещающих пород.

Ангидритизация

Многие исследователи считают, что процессы сульфатизации, как правило, отрицательно влияет на формирование коллекторских свойств пород. Однако интенсивно сульфатизированные трещиноватые доломиты нередко становятся пористо-проницаемыми за счет повышенной трещиноватости и связанными с нею вновь образованными порами выщелачивания, приуроченными к сульфатизированным участкам.

Наибольшее распространение ангидрит получил в породах оксымской, тыйской, аверинской и анциферовской свит. Как известно, гипс и ангидрит могут осаждаться в поверхностных условиях, хотя обычно ангидрит возникает за счет замещения гипса или вмещающих карбонатных пород. В большинстве случаев переход сульфата из одной формы в другую затемняет его происхождение, и в результате в породах присутствует аморфный желваковый ангидрит.

В отложениях ангидрит представлен двумя типами генераций. Ангидрит первого типа существует главным образом в форме микроскопических удлиненных и изометрических кристаллов, часто образуя желваки, пятна, выполняя складчатые энтерлитовые слои и развиваясь по отдельным ламинам строматолитов.

Для второго типа характерны крупнокристаллические образования ангидрита, который развивается по кавернам и секущим трещинам. Кроме того, наблюдаются породы с текстурами типа «вигвама». Данные текстурные особенности, очевидно, обусловлены расширением породы в период гидратации ангидритовых прослоев с последующим ростом кристаллов [Обстановки осадконакопления..., 1990].

В породах оксымской свиты наибольшее распространение получил первый тип, но также встречаются и длиннопризматические эпигенетические кристаллы ангидрита, заполняющие каверны в доломитах. Для пород тыйской свиты характерны ангидритовые прослои 10-20 см, с разномасштабными плейчатыми текстурами, которые, возможно, являются результатом диагенетической «сульфатной тектоники». В аверинской свите ангидритизация по разрезу неравномерная, наблюдаются сильно ангидритизированные породы с узорчатой структурой, переслаивающиеся с тонкими прослоями ангидритовых аргиллитов и доломитов. В анциферовской свите ангидрит также представлен двумя генерациями. Преобладает седиментационный (раннедиагенетический) ангидрит, который развивается по всей породе в виде неправильных пятен, мелких желваков коричневатого цвета.

Петрофизическая характеристика пород

В скв. Восток-3 основное влияние на формирование пустотного пространства рассматриваемых отложений оказало развитие вторичных пор и каверн по наиболее перекристаллизованным участкам, а также трещинам и стилолитам. Пористость и проницаемость матрицы по петрофизическим данным в пойгинской свите несколько ниже, чем в вышележащей котоджинской, хотя по данным макро- и микроскопического изучения пород установлено (на качественном уровне), что в целом содержание пор и каверн в пойгинской свите (10-20%) более высокое, чем в котоджинской свите (10-15%). Этот факт объясняется тем обстоятельством, что в котоджинской свите преобладают поры, а в пойгинской свите больший объем пустотного пространства приходится на каверны (см. рис. 4) (при обработке керна крупные каверны, как правило, не сохраняются). В целом же открытая пористость матрицы монолитных образцов обеих свит незначительна, преобладают значения ≤ 5 %. Невысокие фильтрационно-емкостные свойства матрицы обусловлены интенсивной перекристаллизацией и выполнением пустот доломитом, которые значительно усложнили строение порового пространства. Значения пористости в пойгинской свите по петрофизическим данным изменяется от 0,6 до 2,6 %, проницаемости от $\leq 0,001$ до $0,2 \times 10^{-15} \text{ м}^2$. По результатам петрофизических исследований пород котоджинской свиты пористость меняется от 0,1 до 16,2 %. Средний диапазон изменения проницаемости от тысячных долей до $0,7 \times 10^{-15} \text{ м}^2$, в наиболее пористых прослоях значения возрастают до 3,1 и $63,4 \times 10^{-15} \text{ м}^2$ (рис. 6).

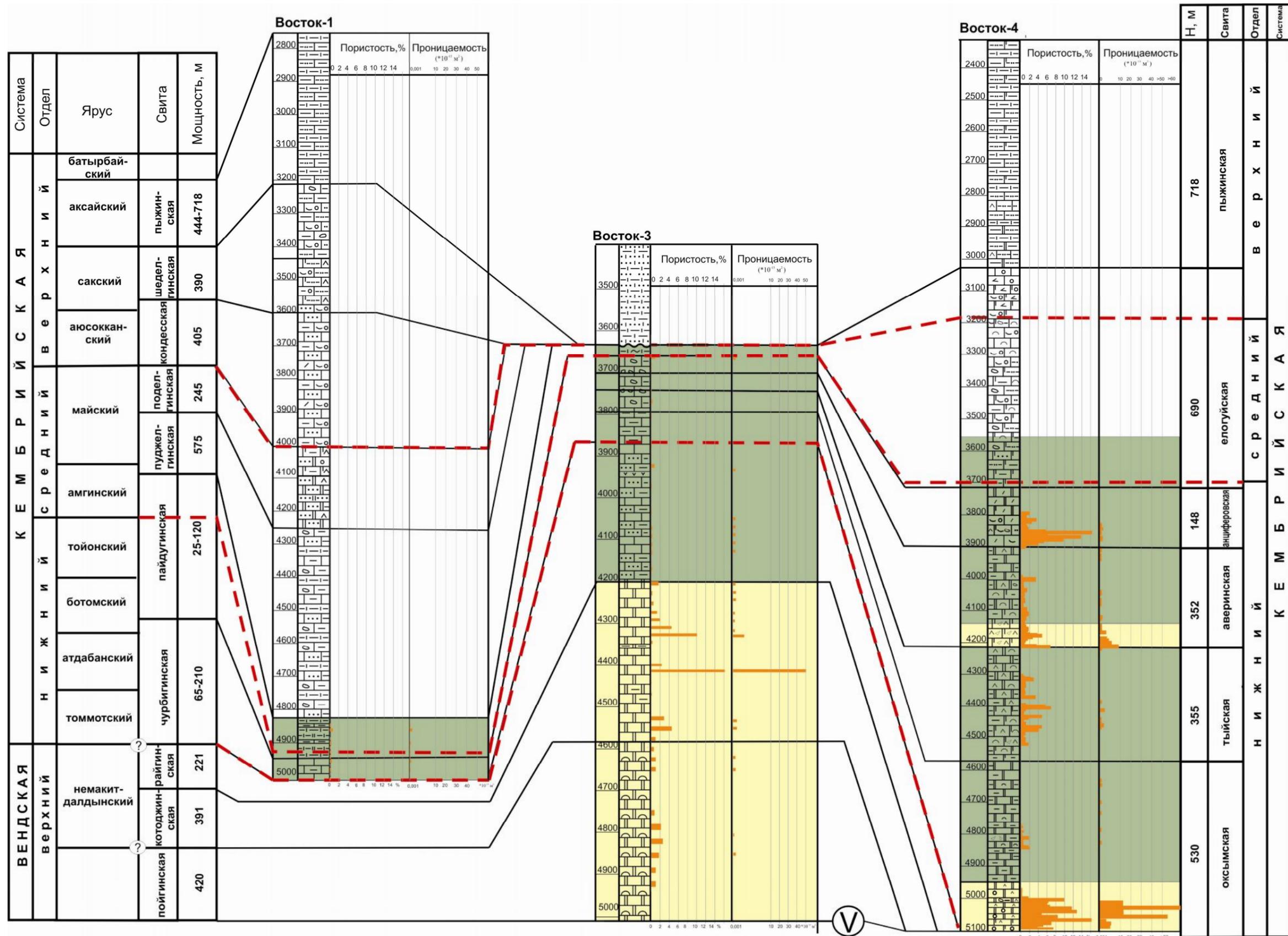


Рис. 6. Потенциальные резервуары в венд-нижекембрийских отложениях (скв. Восток-1,3,4)

На основании литологических и петрофизических исследований, а также данных об интенсивном поглощении промывочной жидкости при бурении, можно сделать вывод о развитии в пойгинской свите пород-коллекторов преимущественно трещинного и каверново-трещинного типа, в котоджинской свите отмечаются редкие маломощные прослои коллекторов каверново-порового типа.

Породы райгинской свиты, согласно данным петрофизических исследований, имеют пористость в целом не более 0,1 % и проницаемость $\leq 0,001 \times 10^{-15} \text{ м}^2$.

В чурбигинской и пайдугинской свитах фиксируются крайне низкие значения коллекторских свойств - пористость до 0,9 %, проницаемость до $0,5 \times 10^{-15} \text{ м}^2$.

Комплекс палеозойских отложений, вскрытый скважиной Восток-1, согласно данным петрофизических исследований, представлен породами с преимущественно низкими фильтрационно-емкостными характеристиками. Средние значения пористости составляют доли процентов, а проницаемости $\leq 0,001 \times 10^{-15} \text{ м}^2$. Практически непроницаемые чурбигинская и пайдугинская свиты, могут быть перспективны в качестве флюидоупора для нижележащих доломитов пойгинской и котоджинской свит, вскрытых скв. Восток-3 (см. рис. 6).

Из всего домезозойского разреза скв. Восток-4 наилучшими коллекторскими свойствами, согласно петрофизическим данным, обладают породы нижней подсвиты оксымской свиты. В пределах нижней подсвиты пористость кавернозных доломитов варьирует от 3,18% до 11,43%, проницаемость меняется от $1,513 \times 10^{-15} \text{ м}^2$ до $12454,45 \times 10^{-15} \text{ м}^2$. Наилучшими коллекторскими свойствами обладают кавернозные доломиты в инт. 5009,6-5024,0 м с максимальной пористостью 8,18-15,94% и проницаемостью $165,50-12454,45 \times 10^{-15} \text{ м}^2$. Таким образом, сочетание порово-кавернозного коллектора, с трещинным позволяет рассматривать нижнюю подсвиту оксымской свиты как потенциальный коллектор углеводородов – самый перспективный в домезозойской части разреза скв. Восток 4 (см. рис. 6).

Залегающая выше тыйская свита характеризуется неоднородностью состава и разнообразием структурных признаков, что находит отражение в фильтрационно-емкостных свойствах. Значения пористости составляют первые проценты, от 1 до 6,64%, максимальные значения связаны с участками формирования вторичного межкристаллического пустотного пространства. Проницаемость изменяется от $< 0,001 \times 10^{-15} \text{ м}^2$ и единично достигает $2,5 \times 10^{-15} \text{ м}^2$ и $4,6 \times 10^{-15} \text{ м}^2$. В целом породы тыйской свиты не представляют интереса как потенциальный коллектор углеводородов. Толщу можно рассматривать как неоднородный

по качеству и мощности флюидоупор сульфатно-карбонатного и глинисто-карбонатно-сульфатного состава.

С точки зрения фильтрационно-емкостных свойств в аверинской свите интерес представляет нижняя часть, где развиты доломитовые брекчии. Минимальное значение пористости монолитных образцов составляют 0,24%, максимальные - достигают 3,42% и 4,51%. Проницаемость монолитных образцов мала. В большинстве образцов она не превышает $1 \times 10^{-15} \text{ м}^2$. Однако, отмечаются образцы брекчий проницаемость которых достигает $7,050 \times 10^{-15} \text{ м}^2$. Присутствие брекчий и наличие многочисленных тектонизированных зон по разрезу, установленных при качественном изучении кернового материала, указывает на высокую потенциальную возможность формирования трещинно-кавернозного коллектора в нижней части свиты. Верхняя часть свиты, может служить флюидоупором для возможного коллектора. Эта часть разреза характеризуется очень низкими значениями пористости и проницаемости.

Анциферовская свита неоднородна по фильтрационно-емкостным свойствам. Для зернистых карбонатных пород преобладающие значения пористости не превышают 1%. Максимальные значения единичных образцов зафиксированы в зернистых, комковато-интракластических, типах пород, до 9,41-15,93%. Проницаемость образцов мала, подавляющее большинство значений составляют $< 0,001 \times 10^{-15} \text{ м}^2$. Только редкие, как правило, пористые разновидности обнаруживают незначительную проницаемость от $0,064 \times 10^{-15} \text{ м}^2$ до $0,382 \times 10^{-15} \text{ м}^2$. В верхней части толщи в перекристаллизованных доломитах проницаемость пород достигает $3,189 \times 10^{-15} \text{ м}^2$. Таким образом, породы анциферовской свиты не обладают выраженными коллекторскими свойствами и скорее могут играть роль флюидоупора.

Заключение

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. В изученных отложениях верхнего венда - нижнего кембрия скв. Восток-1, 3, 4 достаточно интенсивно протекали постседиментационные процессы, к наиболее выраженным из которых относятся перекристаллизация, выщелачивание, окремнение, ангидритизация, стилолито- и трещинообразование. В карбонатных отложениях верхнего венда развиты перекристаллизация, выщелачивание, стилолито- и трещинообразование. В нижнекембрийском разрезе этих скважин кроме этого широко проявилась ангидритизация.

2. Определяющая роль в формировании коллекторских свойств карбонатных пород принадлежит их структурным особенностям, которые формируются под влиянием условий

осадконакопления и постседиментационных процессов. Наибольшее развитие постседиментационные изменения получили в зернистых и строматолитовых (ламинитовых) карбонатных породах, первичные фильтрационно-емкостные свойства которых были достаточно высокими. Широкое развитие вторичных пор и каверн по наиболее перекристаллизованным участкам биоморфных и зернистых типов пород в совокупности с многочисленными пустотами выщелачивания по трещинам и стилолитам привели к увеличению пустотного пространства и формированию высокопористых и проницаемых интервалов в данных отложениях.

3. Воздействие постседиментационных преобразований является неоднозначным. Помимо выщелачивания и залечивания первичных пустот, в породах широко протекали процессы перекристаллизации, окремнения и ангидритизации, приводящие, с одной стороны, к сокращению объема пустот или усложнению их конфигурации, а с другой - к появлению новых фильтрующих каналов, развитию проницаемых трещиноватых зон и увеличению полезной емкости карбонатных пород.

4. Структурно-текстурные особенности пород и характер проявления постседиментационных процессов в отложениях predetermined преимущественное развитие каверново-порового и каверново-порово-трещинных типов коллекторов. В рассматриваемой части разреза скв. Восток-1, 3 по петрофизическим и литологическим данным можно выделить один потенциальный резервуар: в качестве коллектора в нем выступают доломиты пойгинской и котоджинской свит верхнего венда, а карбонатно-глинистые нижнекембрийские породы райгинской, чурбигинской и пайдугинской свит могут выступать в качестве флюидоупора. В нижнекембрийской части разреза скв. Восток-4 выделяются 2 потенциальных резервуара: нижнеоксымский - в призабойной части скважины, флюидоупором для которого служат отложения верхнеоксымской и тыйской свит; а также нижнеаверинский резервуар, выделенный в нижней части аверинской свиты, флюидоупором для резервуара служат отложения верхней части аверинской, анциферовской и вышележащих свит.

Литература

Багринцева К.И. Трещиноватость осадочных пород. - М.: Недра. - 1982. - 256 с.

Елкин Е.А., Краснов В.И., Бахарев Н.К., Белова Е.В., Дубатов В.Н., Изох Н.Г., Клец А.Г., Конторович А.Э., Перегоедов Л.Г., Сенников Н.В., Тимохина И.Г., Хромых В.Г. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Палеозой Западной Сибири. - Новосибирск: изд-во СО РАН, филиал «ГЕО». - 2001. - 163 с.

Конторович А.Э., Варламов А.И., Емешев В.Г., Ефимов А.С., Клец А.Г., Комаров А.В., Конторович В.А., Коровников И.В., Сараев С.В., Филиппов Ю.Ф., Вараксина И.В., Глинских В.Н., Лучинина В.А., Новожилова Н.В., Пегель Т.В., Сенников Н.В., Тимохин А.В. Новый тип разреза кембрия в восточной части Западно-Сибирской плиты (по результатам бурения параметрической скважины Восток-1) // Геология и геофизика. - 2008а. - Т. 49. - №11. - С. 1119-1128.

Конторович А.Э., Варламов А.И., Гражданкин Д.В., Карлова Г.А., Клец А.Г., Конторович В.А., Сараев С.В., Терлеев А.А., Беляев С.Ю., Вараксина И.В., Ефимов А.С., Кочнев Б.Б., Наговицин К.Е., Постников А.А., Филиппов Ю.Ф. Разрез венда восточной части Западно-Сибирской плиты (по результатам бурения параметрической скважины Восток-3) // Геология и геофизика. - 2008б. - Т. 49. - №12. - С. 1238-1247.

Марьенко Ю.И. Нефтегазоносность карбонатных пород. - М.: Недра. - 1978. – 240 с.

Обстановки осадконакопления и фации в 2-х т. Т. 2: пер. с англ. / Под ред. Х. Рединга. – М.: Мир. – 1990. – 352 с.

Тумашов И.В. Литология венд-нижнекембрийских отложений Предъенисейской нефтегазоносной субпровинции (по результатам бурения параметрических скважин Восток-1,3,4) // «Трофимуковские чтения молодых ученых – 2011»: Труды всероссийской молодежной науч. конф. с участием иностранных ученых, посвященной 100-летию академика А.А. Трофимука. - Новосибирск: РИЦ НГУ. - 2011. - С. 307-310.

Уилсон Дж.Л. Карбонатные фации в геологической истории. Пер. с англ. - М.: Недра. - 1980. – 463 с.

Филиппов Ю.Ф., Конторович А.Э., Конторович В.А., Коровников И.В., Сараев С.В. Новый опорный разрез кембрия Предъенисейского осадочного бассейна (по материалам бурения параметрической скважины Восток-4) // Фундамент, структуры обрамления Западно-Сибирского мезозойско-кайнозойского осадочного бассейна, их геодинамическая эволюция и проблемы нефтегазоносности. - Материалы Всероссийской научной конференции с участием иностранных ученых (27-28 апреля 2010 г.), Тюмень-Новосибирск. - Новосибирск. - 2010. - С. 183-188.

Tumashov I.V.

Novosibirsk state university, Novosibirsk, Russia, tumashoviv@gmail.com

THE VENDIAN AND LOWER CAMBRIAN CARBONATE DEPOSITS OF THE PRE-YENISEI PETROLEUM SUBPROVINCE - INFLUENCE OF POST-SEDIMENTATION PROCESSES ON THE RESERVOIR PROPERTIES

The post-sedimentation transformations within the Vendian and Lower Cambrian section of the Pre-Yenisei petroleum subprovince are analyzed. The influence of post-sedimentation evolution on the voids genesis in carbonate reservoirs is presented. The dependence between the sediment of carbonate rocks characteristics and degree of their post-sedimentation modifications was revealed. The potential reservoirs and confining beds in the Vendian – Lower Cambrian section were determined.

Key words: *Vendian, Cambrian, carbonate deposits, post-sedimentation transformations, Pre-Yenisei petroleum subprovince, Western Siberia.*

References

Bagrintseva K.I. *Treshchinovatost' osadochnykh porod* [Fracturing of sedimentary rocks]. Moscow: Nedra, 1982, 256 p.

Elkin E.A., Krasnov V.I., Bakharev N.K., Belova E.V., Dubatolov V.N., Izokh N.G., Klets A.G., Kontorovich A.E., Peregoedov L.G., Sennikov N.V., Timokhina I.G., Khromykh V.G. *Stratigrafiya neftegazonosnykh basseynov Sibiri. Paleozoy Zapadnoy Sibiri* [Stratigraphy of oil and gas basins of Siberia. Palaeozoic of Western Siberia]. Novosibirsk: SO RAN, «GEO», 2001, 163 p.

Filippov Yu.F., Kontorovich A.E., Kontorovich V.A., Korovnikov I.V., Saraev S.V. *Novyy opornyy razrez kembriya Pred'eniseyskogo osadochnogo basseyna (po materialam bureniya parametriceskoy skvazhiny Vostok-4)* [A new key section of the Cambrian Ore-Yenisei sedimentary basin (based on the data obtained from well Vostok-4)]. *Fundament, struktury obramleniya Zapadno-Sibirskogo mezozoysko-kaynozoysskogo osadochnogo basseyna, ikh geodinamicheskaya evolyutsiya i problemy neftegazonosnosti* [Basement, structures of the Mesozoic-Cenozoic Western Siberian sedimentary basin, their geodynamic evolution and oil and gas potential issues]. Proceedings of the All-Russian Scientific Conference with participation of foreign scientists (Tyumen'-Novosibirsk, 27-28 April 2010). Novosibirsk, 2010, p. 183-188.

Kontorovich A.E., Varlamov A.I., Emeshev V.G., Efimov A.S., Klets A.G., Komarov A.V., Kontorovich V.A., Korovnikov I.V., Saraev S.V., Filippov Yu.F., Varaksina I.V., Glinskikh V.N., Luchinina V.A., Novozhilova N.V., Pegel' T.V., Sennikov N.V., Timokhin A.V. *Novyy tip razreza kembriya v vostochnoy chasti Zapadno-Sibirskoy plity (po rezul'tatam bureniya parametriceskoy skvazhiny Vostok-1)* [New type of the Cambrian section in the east of the Western Siberian plate (based on the data obtained from the well Vostok-1)]. *Geologiya i geofizika*, 2008, vol. 49, no. 11, p. 1119-1128.

Kontorovich A.E., Varlamov A.I., Grazhdankin D.V., Karlova G.A., Klets A.G., Kontorovich V.A., Saraev S.V., Terleev A.A., Belyaev S.Yu., Varaksina I.V., Efimov A.S., Kochnev B.B., Nagovitsin K.E., Postnikov A.A., Filippov Yu.F. *Razrez venda vostochnoy chasti Zapadno-Sibirskoy plity (po rezul'tatam bureniya parametriceskoy skvazhiny Vostok-3)* [A section of the Vendian in the east of Western Siberian plate (based on the data obtained from the well Vostok-3)]. *Geologiya i geofizika*, 2008, vol. 49, no. 12, p. 1238-1247.

Mar'enko Yu.I. *Neftegazonosnost' karbonatnykh porod* [Oil and gas potential of carbonate rocks]. Moscow: Nedra, 1978, 240 p.

Obstanovki osadkonakopleniya i fatsii [Sedimentary environment and facies]. Vol. 2. Editor Kh. Reding. Moscow: Mir, 1990, 352 p.

Tumashov I.V. *Litologiya vend-nizhnokembriyskikh otlozheniy Pred"eniseyskoy neftegazonosnoy subprovintsii (po rezul'tatam bureniya parametricheskikh skvazhin Vostok-1,3,4)* [Lithology of the Vendian – Lower Cambrian sediments of the Pre-Yenisei petroleum subprovince (based on the data obtained from wells Vostok-1, 3, 4)]. *Trofimukovskie chteniya molodykh uchenykh – 2011* [Trofimuk reading of Young Scientists – 2011]: Proceedings of the All-Russian Youth Scientific Conference with participation of foreign scientists, dedicated to the 100th anniversary of academician A. Trofimuk. Novosibirsk: RITs NGU, 2011, p. 307-310.

Wilson J. *Karbonatnye fatsii v geologicheskoy istorii* [Carbonate facies in geologic history]. Moscow: Nedra, 1980, 463 p.

© Тумашов И.В., 2012