

**КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ
SHORT COMMUNICATIONS**

УДК 552.578.4 (571.16)

**СТРОЕНИЕ И ГЕНЕЗИС ПУСТОТНОГО ПРОСТРАНСТВА
В КОЛЛЕКТОРАХ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ТОЛЩИ
ЮГО-ВОСТОКА ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ПЛИТЫ (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

А.В. Ежова

Томский политехнический университет

634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: batretdinovalv@ingf.tpu.ru

Поступила в редакцию 10 июля 2006 г.

На основании количественного анализа 230 шлифов, изготовленных из образцов, пропитанных окрашенной смолой под давлением, установлены строение и условия формирования пустотного пространства в коллекторах нефтегазоносной толщи юго-востока Западно-Сибирской плиты. Объектом исследования явились карбонатные и кремнистые коллекторы верхнепалеозойского возраста, а также песчаники юры и нижнего мела. Формирование современного облика пустотного пространства в верхнепалеозойских коллекторах обусловлено условиями седиментации, дизъюнктивной тектоникой, магматической деятельностью и постседиментационными преобразованиями. Основными процессами, способствовавшими увеличению первичного пустотного пространства, послужили растворение (выщелачивание), метасоматоз и трещинообразование. Пустотно-поровое пространство в терригенных коллекторах образовалось благодаря сложному взаимодействию процессов седиментогенеза, диагенеза, катагенеза и наложенного эпигенеза. Первичные седиментогенные межзерновые поры определили основную емкость коллекторов, а растворение, перекристаллизация и трещинообразование способствовали созданию внутризерновых пор, микропор перекристаллизованного цемента и трещин.

Ключевые слова: *карбонатные, кремнистые, терригенные коллекторы; нефтегазоносная толща; седиментогенез, диагенез, катагенез, наложенный эпигенез; пустотное пространство.*

**THE STRUCTURE AND GENESIS OF PORE SPACE IN OIL-GAS-BEARING SERIES
OF SOUTH-EASTERN WEST SIBERIA PLATFORM (TOMSK REGION)**

A.V. Ezhova

Tomsk Polytechnic University

The pore space structure and its formation conditions in oil-gas-bearing series of south-eastern West Siberia Platform were determined by variable analysis of 230 sections from sedimentary rock-samples impregnated by colored resin under pressure. The research subject was Upper Paleozoic carbonate and siliceous series, as well as, Jurassic and Lower Cretaceous sandstones. The present pore space (pores, caverns and cracks) in Upper Palaeozoic series was formed under conditions of sedimentation, disjunctive tectonics, magmatic activity and post-sedimentation transformation. The main processes in increasing initial pore space were dissolution (leaching), metasomatism and fracturing. Pore space in terrigenous sediments was formed due to the complex interaction of sedimentogenesis, diagenesis, catagenesis and superimposed epigenesis processes. While initial sedimentary intergranular pores determined the main reservoir capacity, dissolution, recrystallization and fracturing promoted the formation of intra-grain pores, micro-pores of recrystallized cement and fractures.

Key words: *carbonate, siliceous and terrigenous series, oil-gas-bearing reservoirs, sedimentation, diagenesis, catagenesis, superimposed epigenesis, pore space.*

Формирование пустотного пространства в породах-коллекторах обусловлено многообразием процессов, которые определяются условиями седиментации и последующими преобразованиями, магматической деятельностью и тектонической активностью региона. По характеру пустотного пространства, способу его образования и структуре выделяются коллекторы поровые, трещинные, кавернозные и биопустотные [Бурлин и др., 1991]. В зависимости от времени образования они могут быть первичными, образовавшимися вместе с породой, и вторичными, сформированными в уже готовой породе. Значительное влияние на последующие изменения пустотного пространства осадочной толщи оказывали термодинамические условия, химизм подземных вод, литологический состав пород и наличие в них различных примесей.

Целью исследований является установление условий формирования пустотного пространства и выявление факторов, способствующих его увеличению в коллекторах нефтегазоносной толщи юго-востока Западно-Сибирской плиты (Томская область). Объектом исследования послужили карбонатные и кремнистые коллекторы верхнепалеозойского возраста ряда нефтяных месторождений Нюрольского и Усть-Тымского осадочных бассейнов (Чкаловского, Останинского, Северо-Останинского, Герасимовского и др.) и Новоникольской параметрической скважины 1, а также песчаники юры (пласты горизонта Ю₁), к которым приурочена большая часть нефтегазоконденсатных месторождений, и песчаники нижнего мела (пласты группы Б). В качестве метода исследования применен количественный анализ в прозрачных шлифах, проведенный автором. Шлифы изготовлены из образцов пород, предварительно пропитанных окрашенной смолой под давлением (70 верхнепалеозойских, 120 верхнеюрских и 40 нижнемеловых).

Строение пустотного пространства в карбонатных и кремнистых коллекторах

Карбонатные породы

Формирование и развитие современного облика пустотного пространства в карбонатных породах Нюрольского и Усть-Тымского осадочных бассейнов исследовалось А.Е. Ковешниковым и автором данной работы [Ковеш-

ников, 1990; Ежова, 2000, 2001]. В соответствии с этими данными, образование первичных пустот в карбонатных породах определялось типом седиментогенеза [Марьенко, 1978]. При *нормальном* седиментогенезе в хемогенном осадке пустоты практически не образовывались вследствие плотной упаковки кристаллов. В осадках обломочного происхождения формировались междетритовые и межобломочные пустоты (микропоры и мелкие поры). В результате *субстереофитического* седиментогенеза образовывались биогенные пустоты (межскелетные, внутрискелетные и микрофитолитовые). Форма пустот и их размеры определялись морфологией и размерами раковин и других организмов. И наконец, в ходе *стереофитического* седиментогенеза в карбонатных образованиях формировались рифовые пустоты, которые сразу после образования имели неправильную форму, обусловленную взаиморасположением остатков рифостроящих организмов и водорослей.

В изучаемой толще *первичные* седиментогенные пустоты формировались, вероятно, в стадию субстереофитического седиментогенеза в условиях нормального морского бассейна, о чем свидетельствуют прослои органогенно-обломочных известняков, известных на Арчинской, Солоновской, Северо-Калиновой, Лугинецкой площадях и вскрытых Новоникольской параметрической скважиной 1. В этих породах первичное пустотное пространство представлено внутрираковинными и внутрискелетными порами размером 0,05-1,0 мм (рис. 1 а, б).

Формированию *вторичной* пористости в карбонатных породах способствовали процессы растворения (выщелачивания), метасоматоз и трещинообразование. Вторичные пустоты являются *унаследованными*, если они образовались за счет процессов растворения и выноса растворимого материала из заложенных в седиментогенезе пор, и *вновь образованными* при проявлении интенсивного трещинообразования [Багринцева, 1977]. В первом случае фильтрация флюидов осуществляется по крупным, хорошо сообщающимся порам и кавернам. Во втором – соединение изолированных пор и каверн различного размера осуществляется через сеть микротрещин.

Благодаря выщелачиванию и трещинообразованию в органогенно-обломочных известняках изучаемой толщи сформировались коллекторы порового и трещинно-порового типа с унаследованной вторичной пористостью.

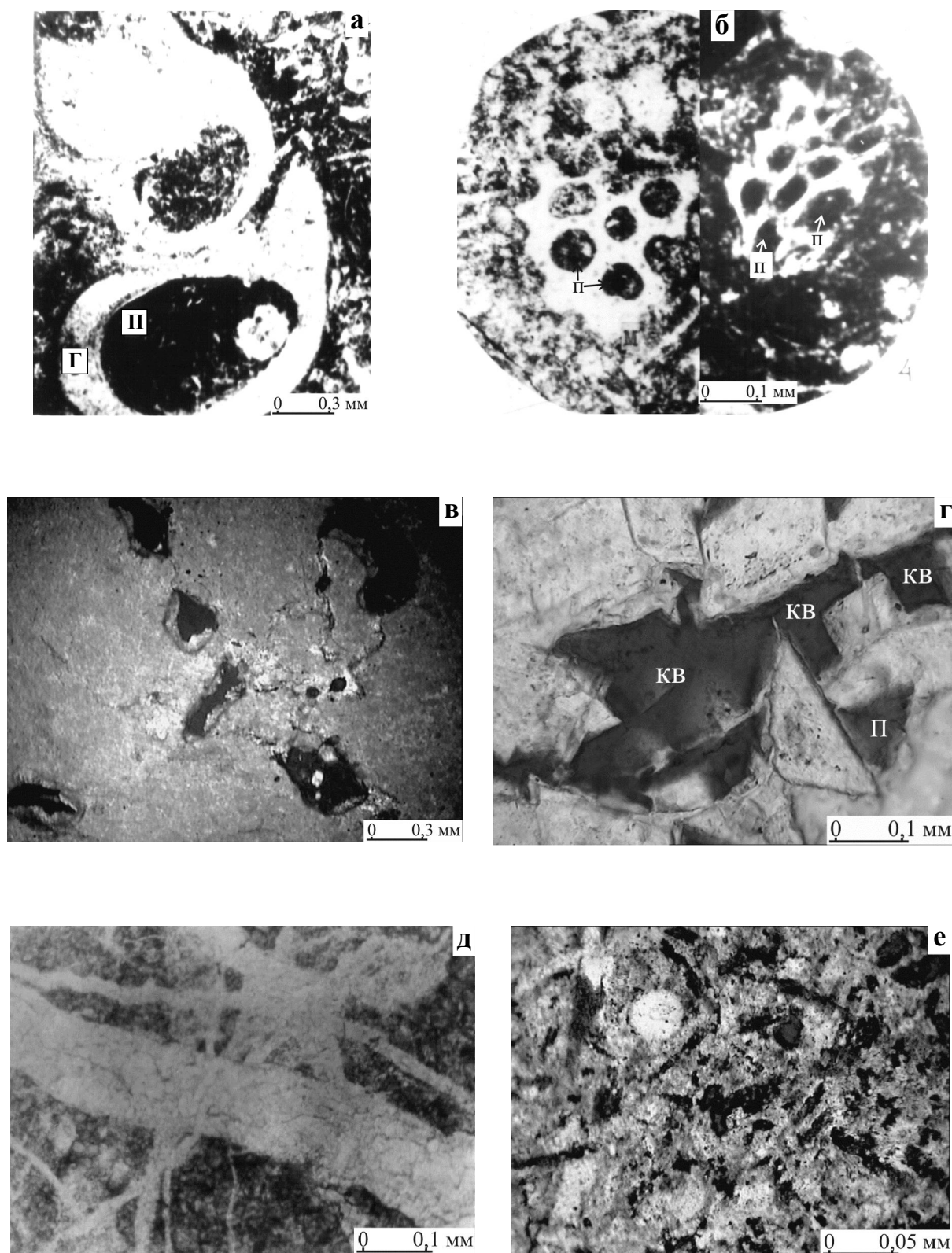


Рис. 1. Пустотное пространство (темное) в шлифах (1 ник.) из коллекторов верхнепалеозойской толщи юго-востока Западно-Сибирской плиты.

а, б – известняк органогенно-обломочный с открытыми порами (п) в раковине гастроподы и обрывках колоний мшанок (Новоникольская параметрическая скв. 1, глуб. 3952,0 м и 4026,0 м); в – известняк с пустотами растворения (Новоникольская параметрическая скв. 1, глуб. 3670,0 м); г – доломит замещения с кавернами (кв) и порами (п) (Северо-Останинская скв. 7, глуб. 2795,0 м); д – известняк брекчиевидный (Чкаловская скв. 4, глуб. 3068,0 м); е – спонголит с порами в остатках спикул губок (Герасимовская скв. 4, глуб. 2710,0 м).

В стадию диагенеза образовался разнообразный комплекс пустот, но лишь некоторые из них имеют существенное значение для формирования коллекторов. Главными факторами пустообразования в диагенезе являлись доломитизация и действие углекислоты. Последняя образовывалась в поровых растворах в результате разложения микробами органического вещества и затем приводила к растворению карбонатного материала. При диагенетической доломитизации образовались пустоты контракции и растворения. Формирование этих пустот происходило за счет сокращения объема породы при замещении кальцита доломитом при воздействии поровых растворов, содержавших повышенную концентрацию ионов магния, и растворения метастабильного высокомагнезиального кальцита [Марьенко, 1978]. Диагенетические пустоты в изучаемых породах представлены мелкими (0,005-0,1 мм) порами, реже мелкими (~1,0 мм) кавернами, которые иногда сообщаются друг с другом.

Пустоты стадии катагенеза довольно разнообразны по своему генезису. При региональном *прогрессивном* катагенезе (погружение территории) в карбонатных породах происходило сокращение пустотного пространства за счет уплотнения и цементации. В карбонатных породах, испытавших региональный *регрессивный* катагенез (подъем территории), проявилось интенсивное выщелачивание. Образование пустот носило унаследованный характер. В изучаемых породах пустоты имеют самые разнообразные размеры – от мелких пор (0,05-1,0 мм) до каверн (1,2-10,0 мм). Форма пор и каверн неправильная, округло-изометрическая, удлинённая, щелевидная, заливообразная и т.д. (рис. 1в). Распределение пустот выщелачивания весьма неравномерное, рассеянное, пятнистое, полосчатое, линейное. Иногда они различаются внутри минеральных трещин и стилолитов, часто развиваются по ходу открытых микротрещин. Эти породы представляют собой коллекторы трещинно-порового типа с унаследованной и вновь образованной вторичной пористостью. Пористость в шлифах достигает 10-15 %.

В процессе катагенетической доломитизации формировались пустоты контракции и растворения. Принцип образования этих пустот тот же, что и при диагенезе. Обогащение гидротермальных растворов, поступавших по разломам, ионами магния происходило в зонах активного водообмена за счет растворения магматических пород преимущественно основ-

ного состава, составляющих значительный объем палеозойской толщи.

В доломитах замещения отмечается наличие пор и каверн размером 0,05-10,2 мм (рис. 1г), часто в них присутствуют трещины с раскрытостью до 0,3 мм. Это коллекторы трещинно-кавернозного типа с унаследованной и вновь образованной вторичной пористостью и кавернозностью. Значение пористости в шлифах достигает 23 %.

Среди пустот гипергенеза широко представлены пустоты выщелачивания, которые в генетическом отношении близки пустотам, образовавшимся в стадию регионального регрессивного катагенеза. Образование этих пустот носит унаследованный характер.

Условия для образования трещин в карбонатных породах появлялись по мере их литификации и потери ими пластичности. Литогенетическая трещиноватость образовывалась за счет различных диагенетических и катагенетических процессов (дегидратации, уплотнения, перекристаллизации). Тектонические трещины формировались при воздействии на породы различных тектонических напряжений, ведущих к их деформациям и возникновению разрывов.

Непрекращающаяся на протяжении всей геологической истории палеозоя тектоническая активность в изучаемом регионе приводила к возникновению многочисленных трещин, которые, пересекаясь, образовывали сплошную сеть, создавая брекчиевидную текстуру (рис. 1д). Раскрытость трещин составляет 0,01-0,2 мм, в участках раздувов достигая 1 мм. Размеры вторичных пустот выщелачивания, которые различаются внутри минерализованных трещин и стилолитов, изменяются от 0,5 до 0,15 мм. В этих условиях образовались коллекторы порово-трещинного типа с вновь образованной вторичной пористостью. Через систему эффективных трещин осуществляется фильтрация флюидов в толще карбонатных пород.

Кремнистые породы

Главными факторами пустообразования в кремнистых породах является выщелачивание и трещинообразование. Процессы выщелачивания наиболее интенсивно осуществлялись в органогенных силицитах (радиоляритах и спонголитах) в период регионального регрессивного катагенеза. Пустотное пространство в

этих породах представлено порами, размеры которых соответствуют размерам кремнеаккумулирующих организмов (0,5-4,0 мм (рис. 1е)). Трещиноватость силицитов обусловлена их хрупкостью. Породы обычно разбиты трещинами различной генерации с раскрытостью 0,003-0,05 мм, которые соединяют образовавшиеся поры, создавая при этом подобие губки. Открытая пористость, замеренная в шлифах, изменяется от 5,3 до 19,2 %. Органогенные силициты представляют собой коллекторы трещинно-порового типа с унаследованной вторичной пористостью.

Таким образом, в породах верхнепалеозойского возраста развиты коллекторы трещинно-порового, трещинно-кавернозного и порово-трещинного типа.

Пустотно-поровое пространство в терригенных коллекторах

В алевроито-песчаных коллекторах юрской и нижнемеловой толщи по морфологическому признаку выделяются поры межзерновые, внутризерновые и перекристаллизованного цемента, а также трещины. Их формирование происходило на разных этапах литогенеза.

На ранних стадиях морфология пустотно-го пространства определялась составом исходного материала и условиями формирования отложений. К последним относятся: способ, длительность, дальность переноса обломочного материала, климат, тип водоема осаждения, его гидродинамика и физико-химическая характеристика. Эти седиментационные факторы определяют размеры, окатанность зерен, их сортировку, минералогический состав обломков и формируют межзерновую пористость.

Межзерновые поры в большинстве своем являются остаточными седиментогенными порами, претерпевшими в последующем изменения за счет диагенетических и катагенетических процессов. Морфология пор определяется размерами и пространственным соотношением обломочных зерен. Форма пор неправильная, стенки неровные, шероховатые. В коллекторах изучаемых разрезов размеры пор достигают 1,0 мм, часто они сообщаются между собой (рис. 2а). Как правило, при равных размерах зерен в нижнемеловых коллекторах поры крупнее, чем в юрских, поскольку нижнемеловые породы уплотнены в меньшей степени, чем юрские.

Процессы диагенеза и катагенеза приводили к изменению первичной пористости: уплотнение, цементация, аутигенная минерализация способствовали сокращению свободного порового пространства, а растворение, перекристаллизация и трещинообразование – его увеличению. Регенерация приводила к увеличению размеров зерен и, соответственно, сокращению пор, но этот процесс способствовал и улучшению структуры: стенки поровых каналов становятся ровными и гладкими благодаря кристаллографическим очертаниям аутигенных минералов (чаще всего кварца).

Растворение составных частей терригенных пород, содержащих в цементе кальцит, в значительной мере способствовало увеличению порового пространства. При погружении пород повышается температура, давление и концентрация растворенных в воде веществ, понижается рН, увеличивается содержание CO_2 . В связи с этим, кальцит становится неустойчивым и растворяется. Легче всего выщелачивается кальцит в цементе порового типа, труднее – в порово-базальном.

Связанная вода, обогащенная различными ионами и CO_2 , обладает повышенной растворяющей способностью. Агрессивные воды растворяют обломки по периферии, проникают в зерна полевых шпатов и слюд по двойниковым швам и трещинам спайности, по контактам порфировых выделений и основной массы в обломках эффузивов и гранитоидов. В результате интенсивного растворения от некоторых зерен остаются только реликты и образуется вторичная внутризерновая пористость.

Внутризерновые поры в полевых шпатах, развитые по спайности и плоскостям двойникования, характеризуются удлиненной формой (рис. 2б), а в обломках агрегативных пород они имеют неправильную форму и извилистые заливообразные очертания (рис. 2в). Размеры пор колеблются от 0,05 до 0,8 мм.

Дополнительная емкость в коллекторах образовалась за счет растворения неустойчивых компонентов продуктами окисляющейся нефти на водонефтяных контактах и формирования зон разуплотнения.

Существенное влияние на увеличение пустотно-го пространства оказывали явления наложенного эпигенеза на участках, перекрывающих зоны дизъюнктивных нарушений в палеозойском фундаменте. Поступление по разломам глубинных углекислых гидротерм при-

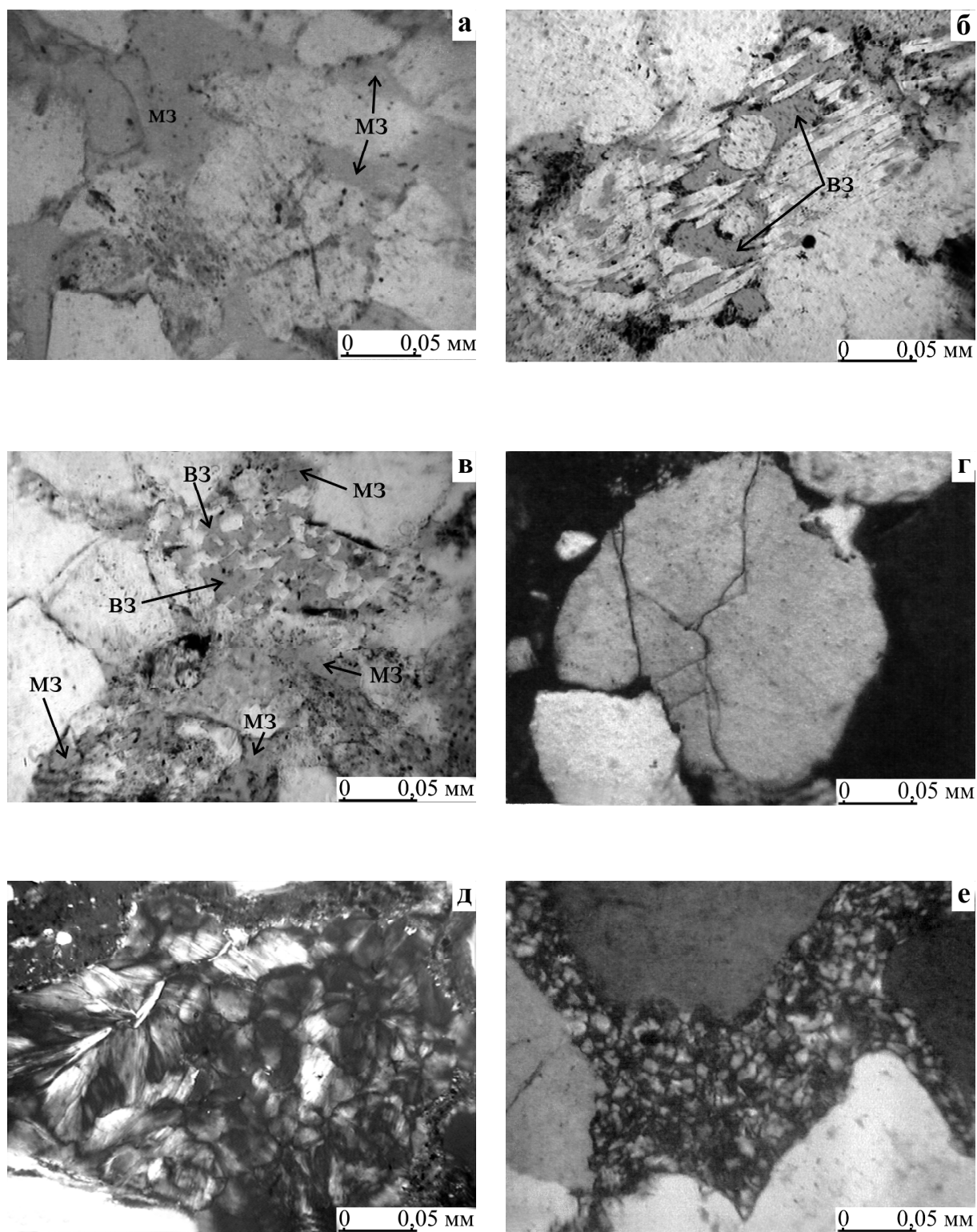


Рис. 2. Пустотно-поровое пространство (темное) в шлифах из коллекторов юрской и нижнемеловой толщи юго-востока Западно-Сибирской плиты.

а – межзерновые (мз) поры (Гуаринская скв. 13, глуб. 2191,33 м, пласт Б₁₂, 1 ник.); б – внутризерновые (вз) поры в зерне плагиоклаза (Нижнелугинецкая скв. 200Р, глуб. 2424,3 м, пласт Ю₁³, 1 ник.); в – межзерновые (мз) и внутризерновые (вз) поры (Ключевская скв. 214, глуб. 2528,34 м, пласт Ю₁³⁻⁴, 1 ник.); г – трещины в зерне кварца (Западно-Моисеевская скв. 31Р, глуб. 2714,17 м, пласт Ю₁³, 1 ник.); д – замещение каолинитом гидрослуд в цементе песчаника (Хвойная скв. 3, глуб. 2688,06 м, пласт Ю₁¹, 2 ник.); е – микропористость в каолините кристаллической структуры, заполняющем поры между обломками (Западно-Моисеевская скв. 31Р, глуб. 2717,6 м, пласт Ю₁³, 2 ник.).

водило к интенсивному растворению обломочного каркаса и цемента и выносу растворенных компонентов [Недоливко и др., 2005].

В этих зонах проявилась и наложенная жесткая деформация породы, которая привела к трещинообразованию. В зернах видны субпараллельные секущие линейные трещины разрыва (рис. 2г). Они пересекают как обломки, так и цемент, их длина составляет 1-3 мм, раскрытость – 0,01-0,03 мм, а трещинные поры имеют относительно прямолинейные ограничения. Трещины играют роль путей фильтрации флюидов, связывая воедино различные виды пустотного пространства.

Перекристаллизация заключается в превращении разбухающих глинистых минералов в неразбухающие. Подобная трансформация глинистых минералов представлена гидрослюдизацией монтмориллонита при наличии калия. Источником его (а также алюминия) послужили калиевые полевые шпаты и слюды, которые подвергались внутрислойному растворению под давлением в течение длительного геологического времени. Затем по гидрослюдам развивался каолинит, имеющий волокнистую структуру (рис. 2д).

При дальнейшем развитии процесса перекристаллизации в поровом пространстве образовался каолинит в виде агрегатов пластинчатых зерен с совершенной триклинной решеткой. Между индивидами каолинита сформировались интерстициальные поры (рис. 2е). Поры перекристаллизации имеют очень мелкие размеры (менее 0,01 мм) и неправильную или многоугольную форму.

Таким образом, терригенные породы юрского и нижнемелового возраста относятся к коллекторам преимущественно порового, а на отдельных участках – трещинно-порового типа.

При количественном анализе в шлифах значения пористости составляют 15-18 %, однако лабораторные величины значительно выше – до 28 % в нижнемеловых коллекторах и 23 % в юрских. Такие расхождения объясняются затруднением подсчета внутризерновых пор и микропор в каолините цемента, а в породе они включаются в общий объем пустотного пространства. Проницаемость в образцах колеблется в широких пределах, составляя $100-500 \cdot 10^{-3}$ мкм² в нижнемеловых коллекторах, $10-100 \cdot 10^{-3}$ мкм² – в юрских, достигая величины $2000 \cdot 10^{-3}$ мкм² в отдельных коллекторах при действии глубинных гидротермальных растворов (Западно-Моисеевская скважина 31Р).

Выводы

1. Формирование современного облика пустотного пространства в карбонатных и кремнистых коллекторах верхнепалеозойской толщи обусловлено условиями седиментации, дизъюнктивной тектоники, магматической деятельностью и постседиментационными преобразованиями. Основными процессами, способствовавшими увеличению первичного пустотного пространства, послужили растворение (выщелачивание), метасоматоз и трещинообразование.

2. Многообразие процессов преобразования в карбонатных и кремнистых породах привело к формированию коллекторов трещинно-порового, трещинно-кавернозного и порово-трещинного типа с неравномерно распределенной унаследованной и вновь образованной вторичной пористостью и кавернозностью.

3. Формирование пустотного пространства в терригенных коллекторах обусловлено сложным взаимодействием процессов седиментогенеза, диагенеза, катагенеза и наложенного эпигенеза.

4. Условия седиментации определили гранулометрический состав и окатанность обломков, степень их сортировки и, следовательно, конфигурацию и размеры первичных межзерновых пор. Диагенетические и катагенетические преобразования привели к изменению первичного пустотного пространства: уплотнение, цементация, слюдизация и регенерация способствовали его сокращению, а растворение и перекристаллизация – увеличению за счет расширения межзерновых, образованию внутризерновых пор и микропор перекристаллизованного глинистого цемента.

5. За счет наложенного эпигенеза образовались зоны разуплотнения при растворении неустойчивых компонентов продуктами окисляющейся нефти на водонефтяных контактах.

6. Дополнительная емкость в коллекторах образовалась благодаря дизъюнктивным нарушениям, которые, являясь путями миграции газовой флюидов, способствовали интенсивному растворению, выносу малоустойчивых компонентов, перекристаллизации, деформации обломков и формированию трещин.

Список литературы

Багринцева К.И. Карбонатные породы – коллекторы нефти и газа. М.: Недра, 1977. 220 с.

Бурлин Ю.К., Конюхов А.И., Карнюшина Е.Е. Литология нефтегазоносных толщ. М.: Недра, 1991. 286 с.

Ежова А.В. Условия формирования доюрских образований Чкаловского нефтегазоконденсатного месторождения // Материалы региональной конференции геологов Сибири, Дальнего Востока и Северо-Востока России / Под. ред. А.В. Комарова. Т.1. Томск, 2000. С. 195-196.

Ежова А.В. Условия образования, типы и свойства палеозойских коллекторов месторождений углеводородов Томской области // Мат-лы междун. научно-техн. конф. «Горно-геологическое образование в Сибири. 100 лет на службе науке и производству» /

Под ред. Б.Д. Васильева и И.В. Гончарова. Томск: Изд-во Томского, политехн. университета, 2001. С. 88-94.

Ковешников А.Е. Литология и закономерности размещения пород-коллекторов в палеозойских отложениях Томской области: Автореф. канд. дис. Новосибирск, 1990. 25 с.

Марьенко Ю.И. Нефтегазоносность карбонатных пород. М.: Недра, 1978. 239 с.

Недоливко Н.М., Ежова А.В. и др. Роль дизъюнктивной тектоники в формировании пустотного пространства в коллекторах пласта Ю₁¹ Западно-Моисеевского участка Двуреченского месторождения (Томская область) // Известия Томского. политехн. университета. 2005. Т. 308. № 5. С. 47-53.

Рецензент доктор геол.-мин. наук В.П. Алексеев