

В.Г. Изотов

Казанский университет, Казань,
Victor.isotov@ksu.ru

РЕГЕНЕРАЦИОННЫЕ КОЛЛЕКТОРЫ РОМАШКИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Большинство известных месторождений Волго-Уральского нефтегазоносного бассейна вступило в заключительную стадию промышленной разработки. Однако резервы этого региона, как свидетельствуют результаты постоянных геологоразведочных работ, еще далеки от окончательной оценки, так как прирост запасов в основном происходит за счет открытия новых месторождений, локализованных обычно в нетрадиционных условиях и, как правило, характеризующихся нетрадиционным типом коллектора. Как уже отмечалось, к коллекторам нетрадиционного типа (Изотов, 2004, 2005) следует относить породы, характеризующиеся нелинейными зависимостями параметров, определяющих их фильтрационно-емкостные свойства. Фильтрационные свойства определяются комплексом факторов, которые связаны с историей геологической эволюции пласта с момента его формирования – седиментогенеза, так и в ходе его перестройки, в процессе разработки.

Анализ этих нелинейных зависимостей позволил выделить основные типы нетрадиционных коллекторов, среди которых особое значение имеет так называемый регенерационный тип коллектора.

Регенерационные коллектора (Изотов и др., 1998) формируются за счет перестройки – регенерации матрицы коллектора и его цемента в ходе стадийных процессов регенерации – диагенез, ранний и поздний катагенез, а также на стадии разработки коллектора при нарушении литолого-геохимического равновесия в системе нефть-коллектор, сопровождающихся изменением кислотности-щелочности и окислительно-восстановительных условий в коллекторе, особенно в ходе химического воздействия на пласт.

Влияние фактора регенерации на формирование кол-

лектора и структуры его пустотно-порового пространства достаточно хорошо известно (Рухин, 1968; Копелиович, 1965; Япаскерт, 1995). Однако в каждом конкретном случае этот фактор проявлен индивидуально и требует специального рассмотрения в зависимости от типа условий литификации породы и ее дальнейшей эволюции. В ходе литификации происходит широкий комплекс изменений структуры и состава породы, что часто полностью меняет ее фильтрационно-емкостные характеристики и сопровождается перестройкой ее пустотно-порового пространства. Эта перестройка структурных особенностей осадка связана со следующими процессами. В первую очередь, перекристаллизацией цемента породы коллектора, во-вторых, перекристаллизация-регенерация самой обломочной матрицы.

Перекристаллизация цемента обломочных пород. Она проявляется на начальных стадиях литификации (Япаскерт, 1995). В результате этого процесса первичное поровое пространство заполняется вторичными минералами, в частности, карбонатами, сульфатами, сульфидами, происходит перераспределение глинистых минералов. Это заполнение может быть полным, что приводит к потере фильтрационных свойств породы, либо частичным, связанным с перекрытием отдельных поровых каналов. Очень часто, как показывают проведенные исследования, в ходе частичной перекристаллизации могут возникать отдельные участки, полностью закристаллизованные карбонатными минералами, пиритом и глинистыми минералами и выведенные из процессов фильтрации – «карбонатные пробки», «сульфидные пробки», «глинистые пробки».

При литификации осадка в ходе перекристаллизации цемента меняется окислительно-восстановительный режим

поровых флюидов. В случае перехода этого режима к восстановительному происходит кристаллизация сульфидов (пирита) за счет восстановления железа, обычно в избытке присутствующего в терригенных отложениях. Пирит осаждается обычно в пережимах – местах сужения первичных поровых каналов, полностью выключая их из процесса фильтрации (Рис. 1).

Особо следует отметить поведение глинистых минералов в ходе стадийных процессов преобразования первичного коллектора. Эти минералы весьма чувствительны к изменению химизма поровой среды. В ходе процессов литификационной эволюции осадка оно приводит к их перекристаллизации и трансформным преобразованиям (Франк-Каменецкий и др., 1983), что сопровождается изменением их объемных и минералогических характеристик, а также к изменению их локализации в пределах пор и поровых каналов (Рис. 2). Глинистые минералы цемента коллекторов обладают способностью резко менять свои объемные характеристики в зависимости от наличия и изменения состава пластовых флюидов. В результате, разбухая, они перекрывают каналы фильтрации, являясь естественными вентилями, нарушающими фильтрационные процессы, что необходимо учитывать в ходе разработки месторождений углеводородов с применением вторичных и третичных методов воздействия на пласт.

Перекристаллизация обломочной матрицы породы-коллектора. Как показывают проведенные ранее исследования, матрица коллектора также активно меняется в ходе стадийной эволюции коллектора в процессе литификации. При этом происходят сложные процессы, нарушающие и меняющие как структуру порового пространства коллектора, так и его минеральный состав (Япаскурт, 1995; Perrodon, 1985). Эти процессы перекристаллизации матрицы протекают различно для карбонатных и терригенных типов коллекторов. Но в обоих случаях резко меняют структуру, извилистость и другие характеристики поровых каналов, что, в свою очередь, меняет линейные законы фильтрации на нелинейные, характеризующие нетрадиционные коллектора.

В частности, для терригенных коллекторов характерны процессы разложения неустойчивых минералов матрицы (глинистые минералы, полевые шпаты, амфиболы, обломки пород) и цемента и рекристаллизации устойчивых минералов. Вследствие этих процессов матрица коллектора «зреет», что сопровождается обычно упрощением ее состава, конечным минеральным продуктом этого упрощения является кварц (Симанович, 1978), который в результате этих процессов последовательно регенери-

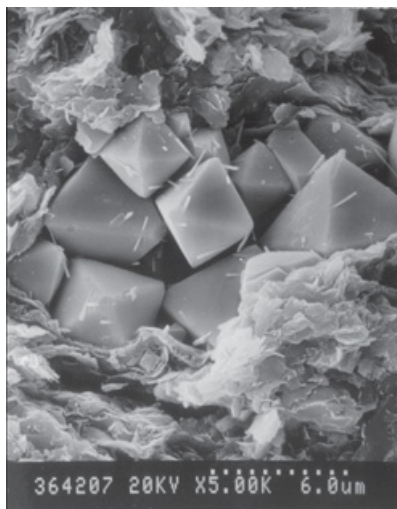


Рис. 1. Октаэдрические кристаллы пирита в межпоровом канале. Елгинское месторождение, горизонт D_0 , скв. 4796, инт.1831 – 1836 м. Ув. 450х.



Рис. 2. Локализация пакетов каолинита в межпоровом канале. Ромашкинское месторождение, горизонт D_1 , скв. 20694, инт.1796 – 1803 м. Ув. 1500х.

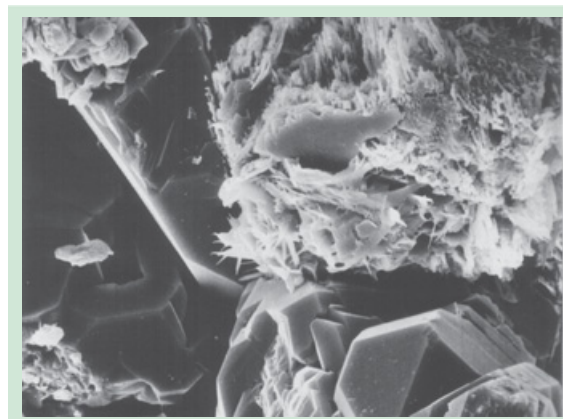


Рис. 3. Идиоморфные кристаллы кварца и агрегаты гидрослюда. Ромашкинское месторождение, горизонт D_1 , скв. 23154, инт.1734 – 1435 м. Ув. 700х.

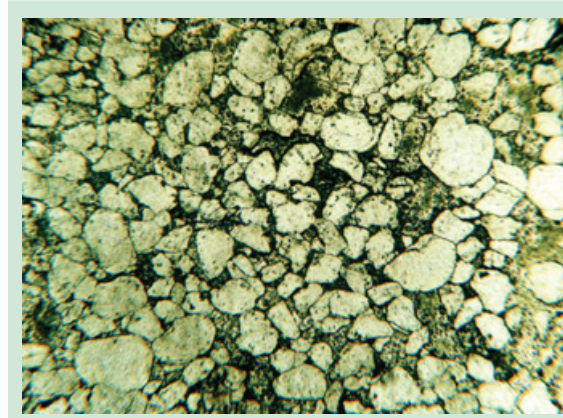


Рис. 4. Седиментационно-гранулярный тип коллектора. Ромашкинское месторождение, горизонт D_1 , скв. 11321, инт. 1760 – 1766 м. Ув. 80х, ник. II.

руется, меняет первичную форму обломочных зерен, которые приобретают кристаллографические очертания (Рис. 3), разрастаясь, переходят в тесные кварцитовидные срастания – кластеры – являющиеся агрегатами нескольких зерен. В дальнейшем происходит срастание этих агрегатов, и порода может переходить в непроницаемый кварцит, коллекторские свойства которого определяются уже не межзерновым пространством, а трещиноватостью с соответственным переходом от порового типа коллектора к трещинно-поровому и трещинному. Эти коллектора характеризуются различными законами фильтрации содержащегося в них флюида. В настоящее время при оценке месторождений углеводородного сырья характер связности зерен коллектора и зависимость фильтрационных эффектов от степени регенерации зерен практически не учитывается, а коллектора различной степени развития регенерационных процессов следует также относить к разряду нетрадиционных – регенерационные коллектора.

Нами проводилось изучение структуры порового пространства коллекторов наиболее перспективных горизонтов D_0 и D_1 Ромашкинского месторождения и его сателлитов. В литологическом отношении это типичные терригенные коллекторы, представленные тонко- и мелкозернистыми песчаниками высокой степени сортировки. Эти коллекторы характеризуются практически мо-

номинеральным составом с преобладанием кварца до 95 – 98%. Остальные минералы представлены калиевым полевым шпатом, плагиоклазом и редкими зернами сильно измененных железомagneзиальных силикатов. Как свидетельствуют проведенные нами исследования, несмотря на крайне простой минеральный состав, эти породы отличаются широким разнообразием структур в пространстве залежей, что связано с их высокой неоднородностью, чем и объясняются широкие колебания их фильтрационно-емкостных свойств (Муслимов и др., 1996).

По данным микроскопического исследования фильтрационно-емкостные свойства этих коллекторов определяются следующими факторами: форма зерен и особенности их упаковки, распределение тонкодисперсной цементной массы в межзерновом пространстве и характер диагенетических – эпигенетических изменений. Суперпозиция этих факторов создает крайнюю неравномерность в разбросе значений коллекторских свойств, определенных даже по стандартным методикам, которые дают их обобщенную характеристику. При этом фильтрационные свойства изучаемых пород коллекторов резко различны по различным направлениям, что обуславливает их анизотропию.

Для выявления неоднородностей коллекторских свойств по различным направлениям нами проводились исследования на образцах кубической формы, отобранных в скважинах Ромашкинского месторождения. Бралась образцы зерна длиной 10 – 15 см макроскопически представленные однородным песчаником. Из каждого образца выпиливалось несколько кубиков. С целью изучения неоднородности коллектора определение газопроницаемости проводилось по трем взаимно перпендикулярным направлениям – вдоль (\perp) и поперек (\parallel .1 и \parallel .2) оси зерна. Анализ полученных данных (табл.) свидетельствует о сильных вариациях значений пористости, проницаемости и не только в пределах одного образца, но и (для проницаемости) в различных направлениях, что свидетельствует о явной анизотропии коллектора. Различие в значениях пористости в пределах одного внешне однородного куска зерна достигает 50 – 100 %. Еще большие колебания наблюдаются в распределении проницаемости, они меняются в среднем для одного образца от 30 до 80 % при максимальных значениях отклонений до 100 %.

При этом значения проницаемости сильно меняются в зависимости от направления (см. табл.) – перпендикулярно напластованию пород (\perp) и по напластованию (\parallel .1, \parallel .2) разброс достига-

скважина, площадь	инт.отбора зерна (м)	№ обр.	порист. %	проницаемость (мкм ²)		
				\perp	\parallel .1	\parallel .2
20694, Миннибаевская	1791 – 1796	1	22,6	569	753	711
– “ –	1791 – 1796	2	19,52	212	186	196
– “ –	1796 – 1803	3	19,13	99	124	120
– “ –	1796 – 1803	4	16,54	19	32	28
– “ –	1796 – 1803	5	13,99	71	72	70
– “ –	1803 – 1810	6	14,84	284	313	305
– “ –	1803 – 1810	7	20,55	851	859	860
23154, Альметьевская	1734 – 1739	1	11,31	12	16	14
– “ –	1734 – 1739	2	18,62	225	301	290
– “ –	1734 – 1739	3	17,48	45	103	106
– “ –	1734 – 1739	4	22,06	495	664	670
– “ –	1734 – 1739	5	23,02	804	1054	1035
– “ –	1734 – 1739	6	20,10	292	662	670
– “ –	1744 – 1749	7	22,27	94	126	120
40074, Азнакаевская	1718,0 – 1718,2	1	20,83	13,41	10,38	10,50
– “ –	1718,0 – 1718,2	2	20,47	12,11	643	680

Табл. Фильтрационно-емкостные свойства регенерационных коллекторов Ромашкинского месторождения.

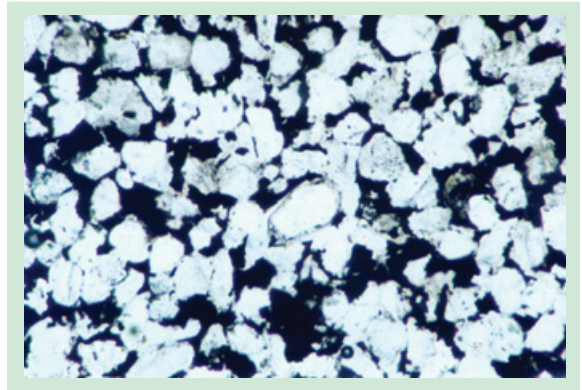


Рис. 5. Гранулярно-кластерный тип коллектора. В центре зерно кварца с регенерационной каймой. Елгинское м-е, Д_р скв. 4796, инт. 1831 – 1836 м. Ув. 80х, ник.П.

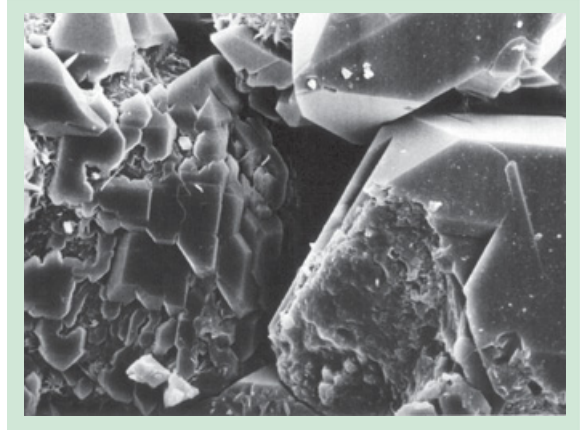


Рис. 6. Агрегат идоморфных и идиоморфно-скульптурированных зерен кварца в кластере. Ромашкинское м-е, горизонт Д_р скв. 20694, инт. 1796 – 1803 м. Ув. 700х.

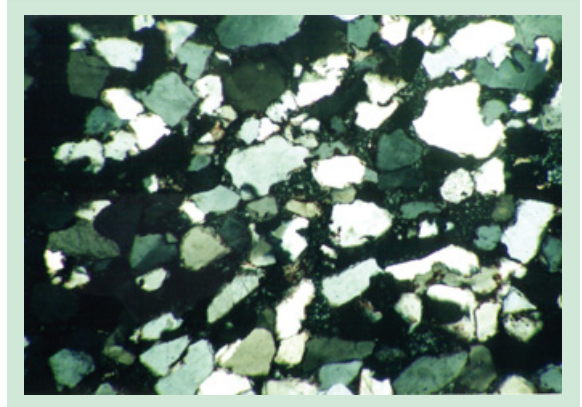


Рис. 7. Кластерный тип коллектора. Межкластерные каналы заполнены тонкодисперсным кварцем. Ромашкинское м-е, Д_р скв. 29035, 1784–1790 м. Ув. 120х, ник. +.

ет 30 – 100 %. Интересно отметить, что не всегда проницаемость характеризует направление перпендикулярное напластованию, при этом часто существенно различаются значения по двум направлениям по напластованию (\parallel .1 и \parallel .2) – до 15 – 30 %.

Учитывая эти факторы, многообразие литолого-фильтрационных типов коллекторов горизонтов Д₀-Д₁ Ромашкинского месторождения и его сателлитов по структуре пустотно-порового пространства можно подразделить на следующие типы:

1. Седиментационно-гранулярный. Формирование пустотного пространства определяется характером упаковки обломочных зерен в ходе осадконакоп-

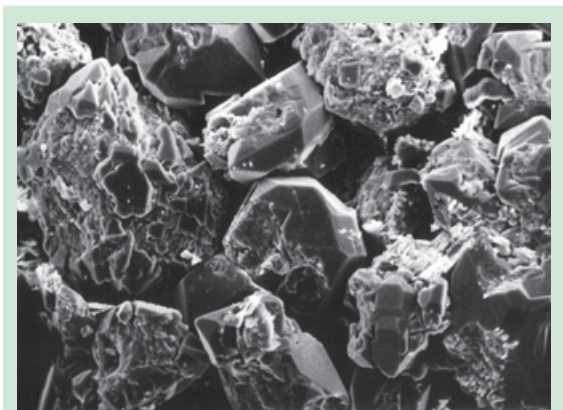


Рис. 8. Кластерный тип коллектора. Кластеры сложены полностью регенерированными кристаллами кварца. Ромашкинское м-е, Д_р, скв.23154, 1744 – 1749м. Ув.700х.

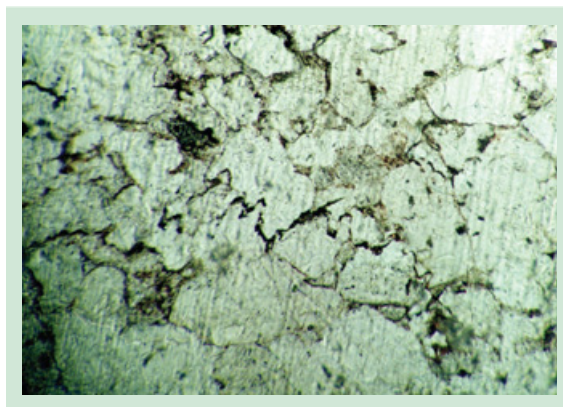


Рис. 9. Регенерационный тип. Кварцитовидный песчаник. Плотное срастание зерен кварца. Стилолитоподобные контакты. Ромашкинское м-е, Д_р, скв.20694, 1796 – 1803м. Ув.120х, ник.П.

ления и уплотнения осадка (Рис. 4). Морфология зерен кварца в таком типе коллектора является сильно изменчивой и определяется характером абразии в ходе их транспортировки. Зерна округлой формы с индексом сферичности близким к 1,0 встречаются редко, чаще встречаются зерна овально-эллипсоидной формы с отчетливой ориентировкой, достаточно плотно упакованные, с индексом сферичности 0,5 – 0,7. Тип порового пространства, образуемого в результате упаковки таких зерен, назван нами седиментационно-гранулярным. При этом укладка овально-эллипсоидальных зерен существенно повышает анизотропию межзернового пространства и фильтрационных свойств.

2. Кластерно-гранулярный. Этот тип коллектора формируется в условиях частичной регенерации зерен кварца, сопровождающейся нарастанием на обломочные зерна регенерационных кайм вторичного кварца (Рис. 5). Вследствие этого первичные окатанные зерна теряют первоначальный облик и приобретают кристаллографические очертания (Рис. 6), либо образуются кварцитовидные участки – кластеры, объединяющие 4 – 5 и более зерен, разделенные участками с отсутствующей перекристаллизацией. Внутри кластеров могут сохраняться первичные изолированные поры, которые выключаются из процесса фильтрации. В этом типе коллектора фильтрационные процессы определяются как характером упа-

ковки неперекристаллизованных участков коллектора, так и сильно усложненной формой поровых каналов вокруг кластеров крайне неправильной формы.

3. Кластерный тип. В тех случаях, когда эпигенетические процессы получают преобладающее развитие, происходит регенерация всех участков коллектора. Порода состоит преимущественно из сростков зерен, крайне неправильной формы (Рис. 7) со сложной системой пор и поровых каналов, что свидетельствует о формировании собственно кластерного типа коллектора (Рис. 8). Эффективная пористость и проницаемость породы в этом случае определяется морфологическими характеристиками уже не самих зерен, а их агрегатов-кластеров. При этом сами кластеры, формирование которых определяется миграцией флюидов по пласту, часто имеют вытянутую форму, вследствие чего возрастает анизотропия коллекторских свойств.

4. Регенерационный тип. В тех случаях, когда регенерационные процессы получают преобладающее развитие, происходит срастание кластеров. Межкластерные каналы закристаллизовываются, порода приобретает кварцитовидный облик с характерной кварцитовидной структурой. Зерна часто имеют аллотриоморфные очертания с взаимным прорастанием. Возникают стилолитоподобные швы (Рис. 9). Теоретически проницаемость таких пород или участков пород близка к нулю, эти участки исключаются из фильтрационных процессов в пласте, создавая макро-неоднородность. Однако часто такие участки могут быть проницаемыми при развитии в них трещинно-микротрещинного каркаса. Возникновение такого каркаса связано с процессами декомпрессии в связи с уменьшением литологической нагрузки. Микротрещины такого типа обычно ориентированы по напластованию, чем и объясняется высокая анизотропия фильтрационно-емкостных свойств коллекторов такого типа. Практически коллектора такого типа могут рассматриваться как трещинные.

Проведенные исследования свидетельствуют, что выявленная неоднородность продуктивных пластов горизонтов Д₀-Д₁, связанная с регенерационными процессами, имеет сложную природу и крайне неравномерное распределение в пределах пласта, что необходимо учитывать как в ходе проведения эксплуатационно-разведочных работ, так и при переоценке залежей. Это позволит выработать оптимально гибкие подходы к разработке отдельных участков этих пластов селективными методами.

Литература

- Изотов В.Г., Ситдикова Л.М., Сулейманов Э.И. Типизация терригенных коллекторов девона Ромашкинского месторождения по структуре порового пространства. *Опыт разведки и разработки Ромашкинского и других крупных нефтяных месторождений Волго-Камского региона*. Казань. Новое знание. 1998. 199-205.
- Изотов В.Г., Ситдикова Л.М. Нетрадиционные коллекторы Волго-Уральской нефтегазоносной провинции. *Сб. материалов к 75-летию ВНИГ-ПИ*. С.Пб. Недра. 2004. 395-399.
- Изотов В.Г. Литолого-фациальные типы нетрадиционных резервуаров углеводородов Волго-Уральской провинции. *Сб. «Неструктурные, сложно построенные ловушки – основной резерв углеводородного сырья России»*. С.Пб. 2005. 30-32.
- Копелиович А.В. *Эпигенез древних толщ юго-запада Русской платформы*. М. Наука. 1965.
- Муслимов Р.Х., Шавалиев А.М. и др. *Геология, разработка и эксплуатация Ромашкинского нефтяного месторождения*. М. ВНИИОЭНГ. Том 1. 1995.
- Рухин Л.Б. *Основы литологии*. Гостехиздат. 1953.
- Симанович И.М. *Кварц песчаных пород (Генетические типы и постседиментационные преобразования)*. М. Наука. 1965.
- Франк-Каменецкий В.А., Котов Н.В., Гойло Э.А. *Трансформные преобразования слоистых силикатов при повышенных P-T параметрах*. Л. Недра. 1983.
- Япаскурт О.В. *Стадиальный анализ литогенеза*. М. МГУ. 1995.
- Perrodon A. *Formation et disposition des gisements de petrole et de gaz. Elf Aquitaine - Boussens*. 1985.