

УДК 553.982.2.23.05:552.54(574.13)

Афанасьев Ю.В.Самарский государственный технический университет, Самара, Россия, bingry@mail.ru

НЕРАВНОВЕСНОСТЬ ПРОДУКТИВНОЙ КАРБОНАТНОЙ ТОЛЩИ КАРАЧАГАНАКСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Проблема формирования залежей углеводородов представляет как практический, так и теоретический интерес. Продуктивная ловушка есть ограниченная от окружающей среды покрывкой открытая неравновесная гетерогенная система порода–флюид, находящаяся на начало разработки в упорядоченном стационарном состоянии. В открытых системах вдали от состояния равновесия возможна самоорганизация – формирование упорядоченных структур. На основании анализа представительного по объему и информативности материала, характеризующего микро- и макродефектность карбонатных пород, установлена неравновесность продуктивной толщи Карачаганакского нефтегазоконденсатного месторождения Прикаспийской нефтегазоносной провинции. Многочисленные и разнообразные одно-, двух- и трехмерные дефекты в продуктивной карбонатной толще месторождения свидетельствуют о неравновесности системы порода – флюид. Приведены рекомендации для оптимизации разработки месторождения.

Ключевые слова: карбонатная порода, дефектность, ловушка, нефтегазоконденсатное месторождение, дислокация, неравновесность.

Карачаганакское месторождение приурочено к формировавшемуся с позднего девона по артинский век крупному карбонатному массиву, осложненному куполами. Особенности строения карбонатного комплекса обусловлены унаследованным рифообразованием в ранней перми, раннем карбоне и девоне. Ряд исследователей считает, что выявленная фациальная зональность свидетельствует о том, что формирование массива связано главным образом с различием скорости седиментации в зонах рифообразования и некомпенсированного осадконакопления. Пликативными и дизъюнктивными нарушениями небольшой амплитуды осложнена лишь каменноугольная часть постройки [Югай и др., 1987].

Коллектор месторождения сложен преимущественно органогенными карбонатными породами, лишенными терригенной примеси. Наиболее распространены породы биогермного (43%) и биоморфно-детритового (38%) типа. В центральной части массива преобладают известняки (70-80%), доломитизированные разности и доломиты составляют 20-30%. На склонах массива возрастает доля переходных разностей и уменьшается доля известняков. Разнообразие литофациального состава, слоистость разреза и несовпадение структурных планов и толщин пермской и каменноугольно-девонской частей массива объясняют своеобразием колебательных тектонических процессов [Григорьева и др., 1992].

Петрографическими исследованиями выявлены следующие генетические типы известняков (в %): органогенно-водорослево-детритовые – 32; водорослево-органогенно-детритовые – 32; органогенно-водорослевые и водорослевые – 14; органогенно-обломочные – 8; органогенные – 8; сгустково-комковатые – 6 [Песков и др., 2002].

Изучение трещиноватости при послойном описании керна, в образцах для определения пористости и проницаемости, в шлифовках позволило прийти к определенной трактовке типа резервуара [Югай и др., 1987; Багринцева, 1999]. В продуктивном комплексе выявлены горизонтальные, преимущественно наклонные и вертикальные макро- и микротрещины. Обнаруживаются прямолинейные, волнистые, кулисные, обособленные, пересекающиеся и субпараллельные формы. Длина трещин от единиц до сотен мм, средняя раскрытость составляет 25 мкм. Наблюдались трещины сомкнутые, полностью или частично раскрытые либо заполненные кальцитом, ангидритом, твердым битумом. Отмечается наличие протяженных по простиранию прослоев карбонатных пород неясного генезиса с характерной плитчатой трещиноватостью. Самопроизвольного преобразования трещин в цепочки замкнутых включений не установлено. Распределение трещин связывают с текстурой, структурой, вещественным составом и фациальной принадлежностью пород. Наиболее трещиноваты органогенно-обломочные карбонатные породы краевых фаций, в меньшей степени биогермные и водорослевые породы рифовой платформы. Доломиты более трещиноваты, чем известковые и известково-доломитовые породы. Поверхностная плотность трещин варьирует от 0,1 до 4,2 см⁻¹. Плотные породы более трещиноваты, чем породы-коллекторы. Экспериментально установлено, что трещинная проницаемость пород с пористостью ≤ 6 % составляет 10⁻¹⁶ м² и более, что позволяет отнести их к трещинным коллекторам. Наличие такого рода пород, хотя и не дающих притока, но не нарушающих газодинамической связи между обособленными телами коллекторов, привело исследователей к выводу о массивном типе резервуара.

Другие исследователи на основании фациального анализа нижнепермского комплекса карбонатных пород также приходят к выводу о резкой неоднородности продуктивной толщи [Политыкина и др., 1989]. Содержание и мощность коллекторов, их распределение по разрезу и пористость изменяются чрезвычайно резко и объясняются ими фациальной принадлежностью. По фильтрационным свойствам выделены два типа коллекторов: малопроницаемые с улучшенными фильтрационными свойствами (~ 70% всех коллекторов) и суперколлекторы (~ 5%). Исследования по данным ГИС физико-коллекторских свойств фациальных зон привели к выделению характерных для пластовых резервуаров параметров:

число пластов-коллекторов, средняя толщина коллектора, коэффициент «песчаности» и др., и выводам о подчиненной роли трещиноватости и пластовом характере резервуара.

По результатам анализа керн и ГИС установлены четыре типа коллекторов: поровый, каверно-поровый, трещинно-поровый и трещинно-каверно-поровый [Григорьева и др., 1992]. Доля коллекторов в нижнепермских отложениях оценена 35%, а в каменноугольных – 45%. Пустотность трети коллекторов достигает 15-20%, остальных – 6-15%. По комплексу данных произведено районирование каждого эксплуатационного объекта по типам общего разреза. В продуктивной толще газоконденсатных объектов участки равномерного распределения коллекторов (доля 40-70%) по разрезу приурочены к фациям рифового плато, кольцевого рифа и подножия рифа. Эти участки обрамляют зоны с меньшими долями коллекторов (30-60 и 25-35%) и равномерным или неравномерным их распределением. На наш взгляд, это связано с приуроченностью зон к склоновым фациям, сложенным преимущественно органогенно-обломочными разностями известняков и известковых песчаников. В продуктивном разрезе нефтяного (каменноугольно-девонского) объекта выделены два крупных участка (юго-западный и северо-восточный) с долей равномерно распределенных коллекторов 60-90%, обрамленных зонами с долей преимущественно равномерно распределенных по разрезу коллекторов 40-60 и 20-40%. Участки разделяет узкая зона плотных пород с редкими маломощными прослоями коллекторов. Размещение коллекторов по площади и разрезу позволили сделать вывод о массивно-пластовом характере резервуара.

При петрографических и рентгеноструктурных исследованиях образцов карбонатных пород в продуктивном разрезе (скв. 2, 14, 17, 23, 26, 28, 41) установлена слоистая неоднородность, обусловленная цементацией вторичным катагенетическим кальцитом (до 30% к площади шлифа) [Песков и др., 2002]. Выборочная средняя мощность прослоев с цементом составляет 5,6 м, пористость – 2-3%. Прослежена корреляция цементированных прослоев по группам скважин. Плотные вследствие цементации прослои разделяются прослоями мощностью в среднем 4,6 м с повышенной пористостью (15-20%). Повышенная пористость объясняется выщелачиванием и переносом вещества, перекристаллизацией и доломитизацией.

Слоистая неоднородность карбонатных пород прослежена также по изменению температуры термической диссоциации кальцита [Афанасьев, 2003]. Установлено, что вниз по разрезу на каждом интервале в 5-10 м изменения достигают 20-40 °. Известно, что на дислокационных границах изменяются многие физико-химические свойства твердых веществ: энергия решетки, удельная теплота растворения, точка плавления и др. [Белов и др.,

1978]. При наличии дислокаций всякая реакция, в т.ч. термического разложения, развивается не только на поверхности зерен вещества, но и на дислокационных границах, т.е. на поверхности, сформированной группировками взаимодействующих дислокаций [Болдырев, 1963]. Вследствие существенного увеличения числа активных центров термическая диссоциация более дефектного кальцита пористых прослоев будет происходить с большей скоростью при более низкой температуре, чем более совершенного – из зон вторичной цементации.

В находящейся вдали от состояния равновесия открытой системе вследствие обмена веществом и энергией со средой составляющие ее элементы становятся активными, способными участвовать в коллективном когерентном макроскопическом движении. Такое движение возможно в нелинейных системах при достижении управляющим параметром определенного порогового значения и осуществляется скачкообразно в форме неравновесного фазового перехода – самоорганизации [Хакен, 1980; Лоскутов и др., 1990]. Проявляется самоорганизация в возникновении устойчивых упорядоченных временных, пространственных и пространственно-временных структур. Самоорганизация имеет место в самых разнообразных системах с большим числом элементов как живой, так и неживой природы при налагаемых на нее ограничениях.

Самоорганизация как методологический подход привлечена для объяснения упорядочения в геологических расплавных и флюидных потоковых системах, метаморфических и магматических комплексах [Летников, 1992]. Сложные природные системы, формирующиеся в динамических условиях, характеризующихся высокими градиентами температуры, давления, концентрации, полей напряжений, находятся вдали от равновесия. Во флюидных системах, активно взаимодействующих с вмещающими их породами, проявляется пространственно-временное структурирование. При движении расплава за счет охлаждающего влияния ограничивающих поток стенок канала происходит структурирование, состоящее в образовании многочисленных слоев с различной вязкостью и перераспределением содержания компонентов. В динамическом потоке происходит расслоение и формируются будущие базальтовые колонны, полосчатые дайковые тела или жилы.

В ряде работ с позиций самоорганизации рассматриваются нефтегазоносные седиментационные бассейны в целом [Конторович и др., 1988, 2002]. *«В качестве имманентной структуры, внутренне присущей любому нефтегазоносному бассейну, независимо от его строения и геологической истории, выступает распределение*

месторождений нефти и газа по запасам в соответствии с законом Парето», - считают исследователи.

По мнению автора с позиций самоорганизации может быть объяснено структурирование в продуктивных нефтегазоносных ловушках [Афанасьев, 2003]. Цель исследования – поиск и систематизация фактов, свидетельствующих о неравновесности продуктивной толщи Карачаганакского месторождения.

В твердых телах, в том числе геологических, подвижными элементами, способными участвовать в согласованном движении и образовывать структуры являются одномерные дефекты – дислокации. *«Они рождаются, движутся, восходят, нисходят, размножаются, взаимодействуют, превращаются, гибнут»* [Гегузин, 1981]. В реальных кристаллах пока нагрузка равномерно распределена и напряжения малы, мала и концентрация дислокаций, а их распределение случайно. С увеличением напряжений плотность дислокаций увеличивается, а их движение становится взаимозависимым. Вдали от состояния равновесия в деформируемом твердом теле образуется ряд сменяющих друг друга упорядоченных пространственных структур: клубковая, ячеистая, полосовая, фрагментированная и др. При достижении порогового значения плотности дислокаций $\rho = 10^{10} \text{ см}^{-2}$ движение дислокаций становится самосогласованным, когерентным и сопровождается образованием упорядоченной ячеистой структуры [Иванова и др., 1994]. Границы ячеек сформированы ансамблями упорядоченно расположенных взаимосвязанных дислокаций. Структурирование обусловлено превращением поступающей в кристалл упругой энергии в работу направленного перемещения взаимодействующих дислокаций. Формирующаяся структура есть не что иное, как наиболее устойчивая при достигнутых условиях форма распределения дислокаций. Образно такую структуру в теории дислокаций принято называть паутиной.

Сформировавшаяся ячеистая структура устойчива при возрастании напряжений до следующего порогового значения $\rho = 10^{12} \text{ см}^{-2}$ и в точке бифуркации скачкообразно сменяется новой устойчивой дислокационной структурой – полосовой. Дополнительно запасенная упругая энергия трансформируется в работу перемещения ансамбля дислокаций, формирующих границы макроскопических форм – полос [Иванова и др., 1994].

Рентгеноструктурными исследованиями исландского шпата, кальцита раковин и скелетов ископаемых организмов [Афанасьев и др., 2000], карбонатных пород, слагающих продуктивный разрез Карачаганакского нефтегазоконденсатного месторождения, установлено наличие одно- и двумерных микродефектов: дислокаций и дислокационных границ, разделяющих блоки когерентного рассеяния (табл. 1).

Таблица 1

Дефектность кальцита продуктивных карбонатных пород

№ скв.	Интервал, м	Тип пород	Рентгеновские характеристики*		
			D, нм	$e \times 10^4$	$\rho \times 10^{-10}$, см ⁻²
17	4586-4593	Доломит известковый	45,0	2,7	
	4652-4654	Известняк органогенно-детритовый	60,9	12,6	1,74
	4950-4957	Известняк органогенный	60,5	12,1	
	4962-4968	Известняк органогенно-детритовый	64,0	5,3	
	4986-4993	Известняк органогенно-обломочный	108,8	9,1	0,89
	4986-4993	Цемент (кальцит) каверновый	324,0	4,3	0,27
	5047-5054	Известняк органогенный	130,0	6,6	0,54
	5070-5075	Известняк органогенно-детритовый	98,0	3,3	
	5077-5082	Известняк органогенно-обломочный	106,7	7,4	0,74
	5171-5178	Известняк органогенный	220,0	8,1	
	5178-5185	Доломит известковый	65,5	1,3	
	5243-5250	Известняк сгустково-комковатый	72,0	5,2	
	5257-5264	Известняк органогенно-водорослевый	110,0	7,5	
	5278-5285	Известняк сгустково-комковатый	80,0	3,8	
	5309-5316	Кальцит каверновый	324,0	10,6	0,34
	5316-5323	Известняк сгустково-комковатый	64,0	4,7	
	5373-5377	Известняк сгустковый	87,0	6,9	
41	4847-4854	Известняк водорослевый	103	5,7	
	5225-5230	Известняк органогенно-обломочный	59,5	6,0	
2	3839-3845	Известняк водорослевый	95,0	7,2	
	3845-3852	Известняк водорослевый	40,9	9,1	
	3852-3859	Известняк водорослевый	64,0	6,6	
	3859-3866	Известняк водорослевый	270,0	4,6	
14	4860-4867	Цемент (кальцит) каверновый	300,0	2,7	
28	5211-5215	Известняк органогенно-обломочный	91,7	7,6	0,89
	5211-5215	Цемент (кальцит) каверновый	290	4,34	0,16

*D – размер блоков когерентного рассеяния; e – микронапряжения, ρ – плотность дислокаций.

Из полученных данных видно, что кальцит ископаемых скелетов и раковин, органогенно-детритового известняка наиболее дефектен: велики плотность дислокаций и микронапряжения, громадное число дислокаций сосредоточено в границах сравнительно мелких блоков. Наименее дефектен кальцит цемента и особенно исландского шпата, подвергшегося как метаморфическая порода действию высоких температуры и давления. Кальцит органогенного, органогенно-обломочного и водорослевого известняка занимает промежуточное положение. Плотность дислокаций в кальците близка к первой пороговой для напряженных металлов. Можно предполагать, что более хрупкий по сравнению с металлами минерал находится вдали от состояния равновесия в существенно напряженном состоянии.

Существует несколько различных точек зрения на генезис микро- и макродефектности. Самопроизвольно без нарушения равновесного состояния могут возникать только точечные

микродфекты кристаллической структуры – вакансии. При 0 К устойчивому состоянию кристаллического тела отвечает единственное минимальное значение энергии, которому соответствует выделенное упорядоченное расположение атомов. Состояние кристалла с энергией большей минимальной не является выделенным и может быть реализовано большим числом микросостояний, существенной характеристикой которого является наличие определенного беспорядка в распределении дефектов. Необходимым для их возникновения источником энергии являются энергетические флуктуации, вызванные случайным стечением обстоятельств при хаотическом тепловом движении формирующих твердое тело частиц (атомов, ионов и др.). При увеличении температуры возрастает активность теплового движения частиц и, соответственно, частота достаточных для рождения вакансий флуктуаций энергии. Оценки показывают, что в монокристалле золота при 300К концентрация вакансий, порождаемых энергетической флуктуацией $U = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж, составляет 10^8 , а при увеличении температуры на 1000К – 10^{19} моль⁻¹. По образному выражению Я.Е. Гегузина, с увеличением температуры кристалл «экспоненциально оживает». Изменяющийся по экспоненциальному закону беспорядок в кристалле проявляется в аналогичной зависимости определяемых им макроскопических свойств: коэффициентов диффузии и электропроводности, упругости пара и др.

Двух- и трехмерные дефекты (границы, поры, трещины) самопроизвольно появиться не могут, так как для их возникновения необходимы существенные флуктуации энергии, развиваемые только *при нагружении извне* [Иванова и др., 1994].

Образование трещин в кристаллах хорошо объясняется в рамках дислокационных представлений [Гегузин, 1981]. Трещины «по Стро» возникают в том случае, если свободное течение материала под нагрузкой встречает какие-либо препятствия: низкая температура, сопровождающаяся ничтожной диффузионной подвижностью частиц, стопоры в форме границ зерен, пор и др. Если движение цепочки из N дислокаций чем-либо тормозится, то головная дислокация в цепочке будет испытывать на себе напряжение, в N раз превосходящее необходимое для ее смещения. Когда это напряжение превзойдет прочность кристалла, появится трещина вследствие объединения ближайших к стопору дислокаций. Запасенная упругая энергия трансформируется в поверхностную. Характерно, что направление трещины с направлением плоскости скольжения дислокаций образует угол близкий к 70°. В механизме трещинообразования по А.Х. Коттреллу стопором является неподвижная дислокация, образуемая при столкновении двух головных дислокаций в движущихся навстречу под углом друг к другу цепочках.

Предполагается, что необходимая для флюидоразрыва, предваряющего эмиграцию подвижных органических веществ из нефтегазоматеринской толщи, энергия может быть обеспечена флюидотермическим давлением [Гайдук, 1991]. Погружение гетерогенной системы порода – флюид сопровождается объемным расширением как твердой фазы, так и более значительным – флюида, обладающего большим коэффициентом объемного теплового расширения. Объем увеличивается также за счет термолиза органического вещества. Количественная оценка показывает, что при погружении в изохорических условиях градиент порового давления, обусловленный новообразованиями и термическим расширением формирующегося флюида, может существенно превысить литостатическое, горное давление. Эта модель хорошо объясняет первичную миграцию газа и микроневфти из материнской породы, формирование выполненных кристаллическим антраксолитом каверн в известняках, накопление аренов в битумоидах материнских пород. Однако флюидотермическая модель не может объяснить феномен суперпроводников, состоящий в образовании протяженных трещиноватых субгоризонтальных прослоев мощностью 1-4 м однотипных плитчатых рыхлых известняков на глубинах 1,3-1,8 км (Оренбургское месторождение) и 3,7-5,1 км (Карачаганакское месторождение) [Жабрив И.П. и др., 1979; Политыкина М.А. и др., 1989]. Невозможно объяснить термическим давлением выщелачивание и перенос вещества.

Образование разнообразных дефектов хорошо объясняется в рамках модели самоорганизации, согласно которой формирующийся в ловушке в ходе аккумуляции рассеянных битумоидов многокомпонентный однородный флюид при достижении неравновесной критической точки расслаивается [Афанасьев, 2003]. Расслоение флюида в пористом пласте мощностью 10-40 м обеспечивается превращением накопленной в микроскопической форме упругой энергии при наложенных ловушкой ограничениях в работу направленного макроскопического конвективного перемещения фаз. В критической точке давление флюида достигает значения, при котором пропускающие трещины и каналы образуют взаимосвязанную систему во всем охваченном расслоением интервале. Перемещение фаз усиливается архимедовой силой, изменяющимся при расслоении пластовым давлением, возникающим и растущим потенциалом фильтрации [Королев и др., 1997]. Формируются две зоны: продуктивная или зона локализации углеводородной фазы и переходная или зона локализации водной фазы.

На границе раздела фаз адсорбируется часть накопившихся в ходе аккумуляции, а также образовавшихся в результате окисления углеводородов полярных поверхностно-активных веществ. Под действием этих агрессивных по отношению к породе веществ

происходит выщелачивание всех наиболее напряженных участков. Становится возможным формирование горизонтальной протяженной слоистости и выщелачивание по границам зерен с образованием рыхлой плитчатой текстуры.

В продуктивной зоне вследствие возрастания пластового давления за счет разности гидростатического давления столбов пластовой воды и углеводородов может происходить формирование микродефектности (зернистости, микротрещиноватости, микропористости) по дислокационному механизму.

Макродефектность продуктивных карбонатных пород – пористость, кавернозность, трещиноватость – представляет непосредственный практический интерес и тщательно изучается, так как используется при подсчете запасов по каждому месторождению углеводородов, моделировании продуктивной толщи и подготовке проекта разработки.

Выполненный анализ позволяет сделать следующие выводы:

1. в системе порода – флюид об отсутствии равновесия свидетельствуют многочисленные и разнообразные одно-, двух- и трехмерные дефекты в продуктивной карбонатной толще Карачаганакского нефтегазоконденсатного месторождения;

2. ограниченная от окружающей среды покрывкой открытая неравновесная гетерогенная система порода – флюид, находящаяся на начало разработки в упорядоченном стационарном состоянии, есть продуктивная ловушка.

Выявленные особенности позволяют поставить задачу изучения форм проявления неравновесности и упорядоченности продуктивных толщ в физических полях и совершенствования методов получения и интерпретации геофизической информации с целью поисков и разведки.

С целью оптимизации разработки месторождений рекомендуется осуществлять контроль и поддержание начального стационарного состояния путем периодических дозированных импульсных энергетических воздействий, например, электрическими разрядами.

Литература

Афанасьев Ю.В. Форма и генезис слоистой неоднородности продуктивных ловушек // Геология нефти и газа. - 2006. - № 2. - С. 30-35.

Афанасьев Ю.В., Песков А.В., Цивинская Л.В., Борисевич Ю.П. Дефектность кальцита различного генезиса // История, достижения и проблемы геологического изучения Самарской области. - Самара: РОСГЕО. - 2000. - С. 140-146.

Афанасьев Ю.В. Фазовый состав кальцита в продуктивных карбонатных породах // Известия СНИЦ РАН. Спец. вып. «Проблемы нефти и газа». - 2003. - Т.1. - С. 164-169.

Багринцева К.И. Условия формирования и свойства карбонатных коллекторов нефти и газа. - М.: РГГУ. - 1999. – 285 с.

Белов Н.В., Зхус И.Д., Данилин А.Н., Шмайс И.И. Влияние структурных дефектов на скорость постседиментационных преобразований полимиктовых песчано-глинистых пород // ДАН СССР. - 1978. - Т. 242. - № 2. - С. 405-407.

Болдырев В.В. Влияние дефектов в кристаллах на скорость термического разложения твердых веществ. - Томск: Изд-во Томск. ун-та. - 1963. - 246 с.

Гайдук В.В. Термическое давление, эмиграция флюидов и образование вторичной пористости // Геология и геофизика. - 1991. - № 6. - С. 81-84.

Гегузин Я.Е. Живой кристалл. - М.: Наука. - 1981. - 191 с.

Григорьева В.А., Зулпукарова Н.Т., Иванова М.М., Колесников А.Ф. Геологическое строение Карачаганакского месторождения в связи с задачами его освоения // Геология нефти и газа. - 1992. - № 1. - С. 10-14.

Жабров И.П., Политыкина М.А., Участкин Ю.В. Суперколлекторы Оренбургского газоконденсатного месторождения // Геология нефти и газа. - 1979. - № 3. - С. 20-28.

Королев В.А., Некрасова М.А., Полищук С.А. Роль электроповерхностных явлений в механизмах вторичной миграции нефти // Геология нефти и газа. - 1997. - № 6. - С. 28-32.

Конторович А.Э., Буриштейн Л.М., Гуревич Г.С. Количественная оценка перспектив нефтегазоносности слабоизученных регионов. / Под ред. А.Э. Конторовича. - М.: Недра. - 1988. - С. 121-138.

Конторович А.Э., Лившиц В.Р. Детерминированный характер процесса нефтеобразования в истории Земли и его количественные характеристики // Геология нефти и газа. - 2002. - № 1. - С. 9-16.

Летников Ф.А. Синергетика геологических систем. - Новосибирск: Наука. - 1992. - 229 с.

Лоскутов А.Ю., Михайлов А.С. Введение в синергетику. - М.: Наука. - 1990. - 272 с.

Песков А.В., Гусев В.В. Выделение зон катагенетической цементации в карбонатных породах Карачаганакского месторождения углеводородов по дефектам кристаллического строения кальцита // Геология и геофизика. - 2002. - № 11. - С. 1009-1016.

Политыкина М.А., Кан В.Е., Чевычалова В.П. Карбонатный седиментогенез и продуктивность коллекторов Карачаганакского месторождения // Опытнo-промышленная эксплуатация Астраханского и Карачаганакского месторождений. - М.: ВНИИГАЗ. - 1989. - С. 3-6.

Иванова В.С., Баланкин А.С., Бунин И.Ж. Синергетика и фракталы в материаловедении. - М.: Наука. - 1994. - С. 28-30.

Хакен Г. Синергетика. - М.: Мир. - 1980. - 404 с.

Югай Т.А., Щеглов В.Б., Бадоев Т.И. Трещиноватость карбонатных отложений и структура Карачаганакского месторождения // Геология нефти и газа. - 1987. - № 11. - С. 21-25.

Afanashev Yu. V.

Samara State Technical University, Samara, Russia, bingry@mail.ru

NONEQUILIBRIUM OF PRODUCING CARBONATE STRATA OF THE KARACHAGANAK FIELD

The issue of hydrocarbon deposits formation represents both practical and theoretical interest. Every producing trap is an open nonequilibrium heterogeneous rock-fluid system, which is limited from environment by cap and is located in the ordered steady state when development starts. Self-organization (formation of ordered structures) can occur in open systems. The analysis of large amount of informative data, characterized micro- and macro-defectiveness of carbonate rocks, enable us to identify the nonequilibrium of producing strata of the Karachaganak oil and gas field (Caspian petroleum province). Numerous and varied one-, two- and three-dimensional defects in producing carbonate strata indicate nonequilibrium of rock - fluid system. Recommendations to optimize field development are given.

Key words: carbonate rock, defectiveness, trap, oil and gas condensate field, dislocation, nonequilibrium.

References

Afanas'ev Yu.V. *Forma i genezis sloistoy neodnorodnosti produktivnykh lovushek* [The form and genesis of layered heterogeneity of producing traps]. *Geologiya nefi i gaza*, 2006, no. 2, p. 30-35.

Afanas'ev Yu.V., Peskov A.V., Tsivinskaya L.V., Borisevich Yu.P. *Defektnost' kal'tsita razlichnogo genezisa* [Defectiveness of calcite of various origins]. *Istoriya, dostizheniya i problemy geologicheskogo izucheniya Samarskoy oblasti*. Samara: ROSGEO, 2000, p. 140-146.

Afanas'ev Yu.V. *Fazovyy sostav kal'tsita v produktivnykh karbonatnykh porodakh* [Phase composition of calcite in producing carbonate rocks]. *Izvestiya SNTs RAN. Special edition «Problemy nefi i gaza»*, 2003, vol.1, p. 164-169.

Bagrintseva K.I. *Usloviya formirovaniya i svoystva karbonatnykh kollektorov nefi i gaza* [Conditions of formation and properties of carbonate reservoirs of oil and gas]. Moscow: RGGU, 1999, 285 p.

Belov N.V., Zkhus I.D., Danilin A.N., Shmays I.I. *Vliyanie strukturnykh defektov na skorost' postsedimentatsionnykh preobrazovaniy polimiktovykh peschano-glinistykh porod* [The influence of structural defects on the rate of post-sedimentation changes of polymictic sand-shale rocks]. *DAN SSSR*, 1978, vol. 242, no. 2, pp. 405-407.

Boldyrev V.V. *Vliyanie defektov v kristallakh na skorost' termicheskogo razlozheniya tverdykh veshchestv* [The influence of crystal defects on the rate of thermal decomposition of solids]. Tomsk: Tomsk University, 1963, 246 p.

Gayduk V.V. *Termicheskoe davlenie, emigratsiya flyuidov i obrazovanie vtorichnoy poristosti* [Thermal pressure, fluid migration and secondary porosity formation]. *Geologiya i geofizika*, 1991, no. 6, p. 81-84.

Geguzin Ya.E. *Zhivoy kristall* [Live crystal]. Moscow: Nauka, 1981, 191 p.

Grigor'eva V.A., Zul'pukarova N.T., Ivanova M.M., Kolesnikov A.F. *Geologicheskoe stroenie Karachaganakskogo mestorozhdeniya v svyazi s zadachami ego osvoeniya* [The geological structure of the Karachaganak field in view of the issues of its development]. *Geologiya nefi i gaza*, 1992, no. 1, p. 10-14.

Zhabrev I.P., Politykina M.A., Uchastkin Yu.V. *Superkollektory Orenburgskogo gazokondensatnogo mestorozhdeniya* [Super-reservoirs of the Orenburg gas-condensate field]. *Geologiya nefi i gaza*, 1979, no. 3, p. 20-28.

Korolev V.A., Nekrasova M.A., Polishchuk S.A. *Rol' elektropoverkhnostnykh yavleniy v mekhanizmax vtorichnoy migratsii nefti* [The role of the surface electrical phenomena in the process of secondary oil migration]. *Geologiya nefi i gaza*, 1997, no. 6, p. 28-32.

Kontorovich A.E., Burshteyn L.M., Gurevich G.S. *Kolichestvennaya otsenka perspektiv neftegazonosnosti slaboizuchennykh regionov* [Quantitative evaluation of petroleum prospects of poorly studied regions]. Editor A.E. Kontorovich. Moscow: Nedra, 1988, p. 121-138.

Kontorovich A.E., Livshits V.R. *Determinirovannyi kharakter protsessa nefteobrazovaniya v istorii Zemli i ego kolichestvennyye kharakteristiki* [Deterministic nature of the process of oil generation in the history of the Earth and its quantitative characteristics]. *Geologiya nefi i gaza*, 2002, no. 1, p. 9-16.

Letnikov F.A. *Sinergetika geologicheskikh system* [Synergetics of geological systems]. Novosibirsk: Nauka, 1992, 229 p.

Loskutov A.Yu., Mikhaylov A.S. *Vvedenie v sinergetiku* [Introduction to Synergetics]. Moscow: Nauka, 1990, 272 p.

Peskov A.V., Gusev V.V. *Vydelenie zon katageneticheskoy tsementatsii v karbonatnykh porodakh Karachaganakskogo mestorozhdeniya uglevodorodov po defektam kristallicheskogo stroeniya kal'tsita* [Identification of zones of catagenetic cementation in carbonate rocks of Karachaganak hydrocarbon field by defects in the crystal structure of calcite]. *Geologiya i geofizika*, 2002, no. 11, p. 1009-1016.

Politykina M.A., Kan V.E., Chevychalova V.P. *Karbonatnyy sedimentogenez i produktivnost' kollektorov Karachaganakskogo mestorozhdeniya* [Carbonate sedimentogenesis and productivity of reservoirs of Karachaganak field]. *Opytno-promyshlennaya ekspluatatsiya Astrakhanskogo i Karachaganakskogo mestorozhdeniy*. Moscow: VNIIGAZ, 1989, p. 3-6.

Ivanova V.S., Balankin A.S., Bunin I.Zh. *Sinergetika i fraktaly v materialovedenii* [Synergetics and Fractals in materials science.]. Moscow: Nauka, 1994, p. 28-30.

Khaken G. *Sinergetika* [Synergetics]. Moscow: Mir, 1980, 404 p.

Yugay T.A., Shcheglov V.B., Badoev T.I. *Treshchinovatost' karbonatnykh otlozheniy i struktura Karachaganakskogo mestorozhdeniya* [Fractured carbonate sediments and the structure of the Karachaganak field]. *Geologiya nefi i gaza*, 1987, no. 11, p. 21-25.