

УДК 553.984

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИИ ХИМИЧЕСКИ АКТИВНОГО ВЕЩЕСТВА В КЕРОГЕНОСОДЕРЖАЩЕЙ ПОРОДЕ

© 2011 г.

*М.Н. Кравченко, Н.Н. Диева*

Российский госуниверситет нефти и газа им. И.М. Губкина, Москва

ninadieva@bk.ru

*Поступила в редакцию 16.06.2011*

Предложена математическая модель разложения керогеносодержащей породы под воздействием активного химического агента. Предлагается описывать изменение структуры порового пространства за счет перехода части твердого вещества скелета в жидкость вследствие поступления активного реагента, содержащегося в растворенном виде в жидкой инертной фазе.

*Ключевые слова:* добыча трудноизвлекаемого и нетрадиционного сырья, кероген, математическая модель, фазовое превращение.

### **Актуальность тематики**

Вопросы разработки так называемых нетрадиционных источников углеводородного сырья включены в федеральную программу по исследованию и разработке приоритетных направлений развития научного технологического комплекса России на 2007–2012 годы. В настоящее время активно ведутся работы по созданию и внедрению инновационного технологического комплекса для добычи трудноизвлекаемого и нетрадиционного сырья (кероген, битуминозные пески, высоковязкая нефть). В условиях современной динамики поиска альтернативных источников энергии важно, чтобы развитие принимаемой теории проходило поэтапно, от ее фундаментальных основ к детальному усложнению и уточнению. Такой подход обеспечит получение решений частных задач, которые не будут противоречить положениям их более общих формулировок.

В настоящем сообщении речь идет о предполагаемом методе разработки таких месторождений, как Баженовская свита в Западной Сибири, большая часть которого содержит так называемый кероген. Геологи и геохимики называют керогеном ту часть рассеянного в породах органического вещества (ОВ), которая нерастворима в водных растворах щелочей и в органических растворителях. В отечественной литературе для обозначения этой части органического вещества, как правило, используется аббревиатура НОВ (нерастворимое органическое вещество) [1]. В обычных условиях – это нетекущая часть углеводородов, находящихся в пласте. По сути, это часть матрицы коллектора, который может содержать и

некоторую часть «зрелой» нефти, способной к движению в процессе вытеснения. При определенных условиях путем разложения керогена термохимическими методами может быть получен дополнительный приток углеводородов, а точнее может быть извлечен объем, превышающий геологические запасы подвижной нефти [2, 3].

### **Математическая модель разложения и фильтрации керогеносодержащей компоненты**

Для расчета процесса растворения керогеносодержащей фракции породы коллектора с последующим ее вытеснением из пласта предложена модель многофазной фильтрации с кинетикой химической реакции. На первом этапе адаптации модели воспользуемся модифицированной моделью неустановившегося вытеснения нефти и «растворенного» керогена раствором химического реагента без учета выделения или поглощения тепла при реакции. Будем также полагать, что выделяющийся при реакции газ имеет небольшой объем и потому не будет влиять на процесс вытеснения, что не отразится существенно на балансе масс. Такая формулировка задачи подразумевает лишь качественное задание кинетики перехода керогена в жидкие углеводороды. Считается, что активный агент независимо от давления и температуры реагирует с керогеном, скорость протекания реакции задается параметром реакции  $J$ . При этом учитывается, что в единицу времени на единицу массы реагента  $J$  растворимое количество керогена  $J$  определяется коэффициентом реакции  $b_c = 1$ . По мере подкачки реагента вместе с носителем (на-

пример водой) в пласт кероген растворяется полностью, при этом весь занимаемый им до реакции объем заполняется жидкой нефтяной фазой.

Предполагаем, что все фазы (и компоненты фаз) являются несжимаемыми, жидкая фаза носителя (вода) и углеводородные фазы не смешиваются, а химический реагент растворим в воде. Концентрация химического реагента уменьшается по мере протекания реакции с керогеносодержащей породой.

Пористость пласта растет при растворении части матрицы скелета. Для простоты будем считать, что растворенный кероген и «зрелая» нефть, содержащаяся в коллекторе до реакции, как и вытесняющий водный раствор, имеют плотности одного порядка. В расчете также будем использовать качественные кривые относительных фазовых проницаемостей и вести расчет в рамках предположений одномерной теории Баклея–Левретта.

Полная система уравнений, задающая одновременное протекание в системе следующих процессов: фильтрации флюида, насыщающего поровое пространство; притока нефти за счет генерации ее из керогена; разложения той части породы, которая была представлена керогеном; общего увеличения пористости скелета, представляет собой модель многофазной фильтрации с кинетикой химической реакции:

$$\frac{\partial}{\partial t}[m s_w \rho_w c] + \text{div}[\rho_w w_w c] = -J,$$

$$\frac{\partial}{\partial t}[m s_w \rho_w] + \text{div}[\rho_w w_w] = 0,$$

$$\frac{\partial}{\partial t}[(1-m)\rho_k] = -b_c J,$$

$$\frac{\partial}{\partial t}[m s_o \rho_o] + \text{div}[\rho_o w_o] = b_c J,$$

где  $m$  – пористость породы;  $c$  – концентрация активного агента в водном растворе;  $s_w, s_o$  – водонасыщенность и нефтенасыщенность соответственно;  $w_w, w_o$  – скорость водной и нефтяной фаз соответственно ( $w_w = wF(s_w)$ ,  $w_o = w(1 - F(s_w))$ ,  $F(s_w)$  – функция Баклея–Левретта);  $\rho_w, \rho_o, \rho_k$  – плотности воды, нефти и породы скелета соответственно;  $J$  – масса агента, расходуемого во время реакции в единицу времени в единице объема системы (для оценки величины  $J$  было принято

суммарное время реакции, то есть время взаимодействия всего объема активного вещества, которое будет прокачено через пласт для растворения всего керогена);  $b_c$  – коэффициент, определяющий долю керогена, разлагающегося после контакта с химически активным агентом.

Первое уравнение представляет собой баланс массы химически активного агента (ХР) как части водной фазы (рис. 1). В модели предполагается, что водная фаза состоит из двух компонентов: активного агента и собственно «чистой» воды. Будем считать, что масса агента, расходуемая в реакции разложения  $J$ , приводит к появлению с такой же скоростью дополнительной жидкой фазы, близкой по своим свойствам к воде и потому «неотличимой» от воды. Именно поэтому сумма двух уравнений для активной части водной фазы и инертной водной фазы дадут в сумме второе уравнение данной системы с нулевым притоковым членом. Третье уравнение дает представление о скорости разложения керогена ( $b_c J$ ), как части скелета, и тем самым увеличения пористости коллектора  $m$ . При этом предполагается, что скелет недеформируем и способная к разложению масса ограничена процентным содержанием керогена в породе (оставшаяся часть представляет собой недеформируемую неразлагаемую часть типа кокса). Последнее уравнение отражает приток массы подвижной части. По описанной модели проведены расчеты, представленные в [4].



Рис. 1. Схематичный состав коллектора до и после обработки пласта химреагентом и ХР

#### Список литературы

1. Каюкова Г.П. и др. // Нефтяное хозяйство. 2007. № 2. С. 105–109.
2. Тиссо Б. // Изв. АН СССР. Сер. Геол. 1970. №5. С. 80–88.
3. Braun R.L., Burnham A.K. // Energy and fields. 1990. V. 4. P. 132–146.
4. Dieva N.N., Kravchenko M.N. // Oil & Gas Eurasia. 2010. No 10. P. 36–41.

**MODELLING OF CHEMICALLY ACTIVE AGENT FILTRATION IN KEROGEN-CONTAINING ROCK**

*M.N. Kravchenko, N.N. Dieva*

The mathematical model of decomposition of kerogen-containing rocks by a chemically active agent is presented. The model describes the transformation of solid kerogen-containing rock into a liquid phase by a chemically active agent which is injected with an inert liquid phase.

*Keywords:* production of hard to recover and unconventional resources, kerogen, mathematical model, phase transformation.