

В.Г. Изотов, Л.М. Ситдикова
 Казанский государственный университет, Казань
 sitdikova8432@mail.ru

НАНОМИНЕРАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ НЕФТЯНОГО ПЛАСТА И ИХ РОЛЬ В ПРОЦЕССЕ РАЗРАБОТКИ

Важнейшей проблемой дальнейшего развития и совершенствования нефтедобывающей промышленности является разработка систем оптимизации эксплуатации конкретных нефтяных залежей, которые определяются коэффициентом извлечения нефти (КИН). При этом экономический эффект оптимизации этого важнейшего показателя часто превосходит эффект открытия новых месторождений, особенно в труднодоступных регионах (Муслимов, 2003). К сожалению, несмотря на широкое использование методов увеличения нефтеизвлечения – МУН, часто эффективность этих методов оставляет желать лучшего и, в частности, на месторождениях Волго-Уральского региона КИН на терригенных коллекторах редко превышает 0.4, а на карбонатных коллекторах, отличающихся высокой сложностью, изменчивостью и повышенной вязкостью нефти часто составляет 0.15 – 0.20. Еще ниже коэффициент извлечения на месторождениях природных битумов.

Анализ проводимых работ по оптимизации КИН свидетельствует, что методы увеличения нефтеизвлечения, в основном, направлены на изменение гидродинамических условий в разрабатываемом пласте (комплекс гидродинамических методов воздействия на пласт) (Муслимов, 2003) или на изменение физико-химических свойств самой нефти, в частности, понижение вязкости нефти, изменение ее лиофильных свойств. Практически остается малоизученным воздействие комплекса МУН на сам коллектор – его минеральную составляющую. Обычно считается, что минеральная составляющая коллектора – его матрица – является инертной и не подвергается воздействию со стороны комплекса МУН. Однако анализ процессов разработки месторождений и проведенные ранее исследования (Изотов, 2006) позволяют сделать вывод о том, что природный коллектор углеводородных систем активно реагирует на практически любое воздействие, как на призабойную зону скважин, вскрывших пласт, так и на весь пласт в целом.

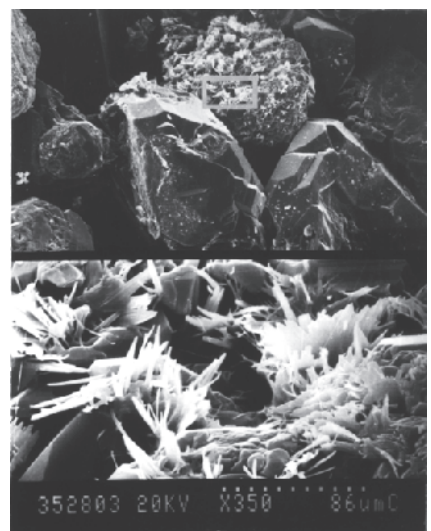
Проведенные нами исследования (Муслимов, Изотов, 2003; Изотов, 2006) по изучению динамики минеральных

фаз коллектора позволили установить, что флюидные, в том числе и углеводородные, фазы пласта и сам коллектор представляют литолого-геохимическую систему, находящуюся в условиях неустойчивого равновесия. Любое внешнее воздействие на эту систему (вскрытие пласта, использование комплекса МУН) приводит к сдвигу этого равновесия, что выражается в изменении фильтрационных характеристик пласта, изменении химизма флюидов и в реакции минеральной составляющей коллектора на произведенное воздействие. С целью характеристики процессов, происходящих в пласте в ходе воздействия на него, нами было разработано положение о литолого-геохимическом равновесии в системе нефть-коллектор (Изотов, 2006). Согласно этому положению (Рис. 1.) в системе коллектор-флюид выделяются инертные и активные минеральные фазы. Инертные фазы представлены обломочными зернами для терригенных коллекторов и карбонатными выделениями и скоплениями для карбонатных коллекторов, которые практически не реагируют на методы воздействия на пласт. Активные минеральные фазы представлены обычно комплексом тонкодисперсных минералов – минералов наноразмерных величин, которые формируют неустойчивый минеральный комплекс, активно меняющий свою форму, ориентировку в пустотно-поровом пространстве, а так же кристаллизующийся в этом пространстве в ходе воздействия на пласт. Эта активная наноминеральная составляющая представлена глинистыми минералами, тонкодисперсным карбонатным материалом, тонкодисперсными сульфидными минералами (пирит) и тонкодисперсными гидроокислами, а так же тонкодисперсным кварцем и более редкими минералами. Как показывают проведенные исследования, эти наноминеральные фазы, даже при их незначительных количествах локализуются обычно в местах пережимов поровых каналов, либо на стыках обломочных зерен, что приводит к нарушению линейности фильтрационных процессов, а часто даже прерывают фильтрацию.

Рис. 1. Схема литолого-геохимического равновесия в системе нефть-коллектор.



Рис. 2. Нанотрубчатые выделения иллита в межзерновом пространстве коллектора. Ромашкинское месторождение, скв. 20694, инт. 1791,0 – 1796,0м, горизонт Д_р, ув.350х.



Анализ динамики поведения наноминеральных фаз, локализованных в поровых каналах нефтяного коллектора, позволяет прогнозировать реакцию пласта на применение того или иного комплекса МУН, что позволяет обосновать конкретные методики воздействия на пласт с целью прогноза оптимального увеличения нефтеотдачи разрабатываемого пласта.

Рассмотрим роль и особенности динамики отдельных наноминеральных фаз, локализованных в структуре нефтяного коллектора, на воздействие отдельных МУН.

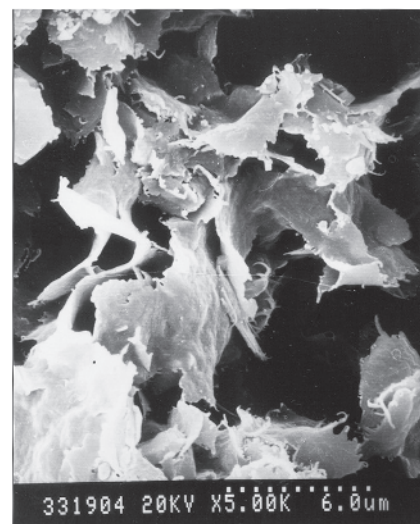
Обладая известной способностью менять объемные характеристики, глинистые минеральные комплексы являются активными наноминеральными фазами, реагирующими практически на все методы воздействия на пласт. Однако проведенные исследования свидетельствуют, что нефтеносные формации Волго-Уральского региона (Изотов, 2004) несут широкий и разнообразный комплекс глинистых минералов, каждый из которых в связи с их кристаллохимическими особенностями индивидуально реагирует на используемые технологии воздействия на пласт. В частности, коллекторы продуктивных горизонтов девонских отложений (горизонты $D_0 - D_1$) характеризуются преобладанием ассоциаций глинистых минералов на базе каолинита и гидрослюдисто-смешанослойных комплексов минералов, при этом смешанослойная фаза представлена ассоциацией гидрослюда-сметит. Терригенные коллекторы каменноугольного возраста характеризуются преобладающим развитием каолинита в составе ассоциаций с подчиненным количеством гидрослюда и смешанослойных фаз.

Эти различия в фазовом составе глинистых наноминеральных комплексов должны учитываться при использовании различных методов воздействия на пласт. В частности, в комплексе методов активного воздействия на пласт большая роль отводится сернокислотным композициям. Проведенные эксперименты свидетельствуют, что применение сернокислотных композиций достаточно эффективно при использовании их в девонских коллекторах, поскольку под воздействием серной кислоты происходит удаление молекул воды из межслоевого пространства смектитов и смешанослойных фаз на их основе, что приводит к «усыханию» глинистых пакетов, а, следовательно, к раскрытию поровых каналов. Для каменноугольных коллекторов, в которых преимущественно развиты ассоциации на основе каолинита, подобного эффекта не наблюдается, поэтому применение для них сернокислотных композиций не эффективно.

Существенное влияние на фильтрационные свойства коллектора имеют гидрослюдистые минералы, форма которых в структуре коллектора во многом зависит от водного режима пласта. Гидрослюдистые комплексы в структуре коллектора обычно формируют нанотрубчатые формы (Рис. 2), однако под воздействием воды эти нанотрубки разворачиваются в пластины, которые могут перекрывать каналы фильтрации (Рис. 3), существенно понижая проницаемость.

В настоящее время при использовании МУН широко применяются поверхностно-активные вещества (ПАВ). Эти вещества существенно влияют на поверхностное натяжение в нефтяном флюиде, что сопровождается понижением их вязкости. Однако использование ПАВ активно влияет на глинистые наноконтакты в структуре коллектора.

Рис. 3. Фестончатые выделения иллита в межзерновом пространстве коллектора (развернутые нанотрубки). Ромашкинское месторождение, скв.20694, инт.1791,0 – 1796,0м, горизонт D_1 , ув.500х.



Нами было проведено исследование воздействия различных неионогенных ПАВ на различные глинистые минералы. Использовались ПАВ-АФ-6 и АФ-12, характеризующиеся различным молекулярно-весовым распределением и шириной цепей молекул (Рис. 4а, б).

Воздействие этих ПАВ на минералы группы смектита приводит к внедрению его цепей в межслоевые промежутки пакетов смектита, в результате чего происходит разбухание смектита на ширину цепи ПАВ, что регистрируется рентгено-дифрактометрическим методом. В гидрослюдах, где пакеты глинистых минералов связаны крупными катионами (K^+), такое внедрение невозможно, и воздействие ПАВ заключается в эвакуации слабосвязанных молекул воды из промежутков, что приводит к незначительному «усыханию» глинистых пакетов. Следовательно, использование ПАВ эффективно для понижения вязкости нефти в поровых каналах, но приводит к существенному разбуханию смектитовых минералов и запырению каналов фильтрации, что сводит к нулю воздействие ПАВ на коллектор, несущий глинистую составляющую такого типа.

Существенную роль в определении нефтеотдачи коллектора определяют сульфидные наноминералы, в частности, пирит. Воздействие сернокислотных композиций, в частности, АСК (алкилированная серная кислота) на коллектор в условиях восстановительного режима пласта приводит к восстановительным реакциям с образованием пирита (FeS_2), при этом очень часто тонкокристаллический пирит локализуется в поровых каналах и их пережимах, создавая своеобразные пиритовые пробки, запечатывающие коллектор и прекращающие процессы фильтрации (Рис. 5). Выделившиеся нанокристаллы

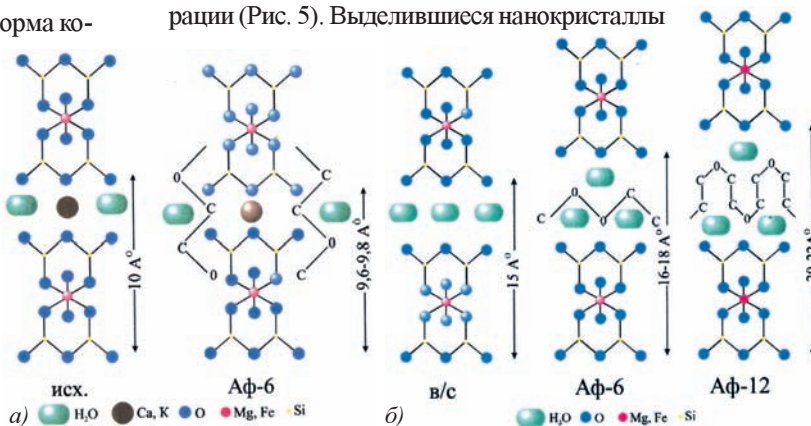


Рис. 4. Кристаллохимическая схема воздействия ПАВ на глинистые минералы. а) гидрослюды, б) смектиты.

НАДМОЛЕКУЛЯРНЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ И ИХ РОЛЬ В РАЗРАБОТКЕ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ

Земная кора представляет собой шлак от переработки вещества мантии при её встрече с кислородом воздуха при извержениях. За редким исключением не успевших прореагировать элементов она состоит из окислов, беспорядочно перемещающихся между собой. Разные по составу смеси получили 2400 персональных наименований. Это связано с тем, что при образовании твердой фазы молекулы окислов, обладающие двумя магнитными зарядами, северным и южным, связаны случайным образом.

Однако, благодаря наличию у планеты неоднородного теплового поля, определяющего геотектонику, в толще кристаллического фундамента возникают трещины, разбивая его на отдельные блоки. При трении блоков друг о друга открываются отдельные молекулы, которые в узком пространстве щели могут, за счет диффузной подвижности, соединиться свободными магнитными зарядами в плоские надмолекулярные наноструктуры.

Две из этих структур легли в основу почти 50% всего промышленного производства мира. Это глины со структурой монтмориллонита, представляют собой пятислойную пластинку из кварца (четырёхвалентная окись кремния SiO_2) и корунда (трехвалентный окисел алюминия Al_2O_3). Символично структуры выглядят так:

4 - 4 - 4 - 4 - 4
- 3 - 3 - 3 - 3 -
4 - 4 - 4 - 4 - 4
- 3 - 3 - 3 - 3 -
4 - 4 - 4 - 4 - 4

Окись кремния плоская структура, а окись алюминия объемная, и именно она связывает в единое эту пачку.

Вторая структура – это ферриты со структурой шпинели тоже пятислойной наноструктуры:

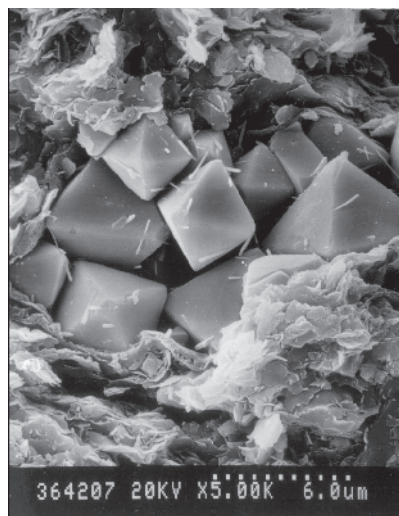


Рис. 5. Фрагментальное выделение пирита, перекрывающее поровый канал. Ромашкинское месторождение, Абдрахмановская площадь. Скв. 3260д, гл.1656,5 – 1668,0, горизонт D_{ϕ} ув.500х.

пирита имеют октаэдрический габитус и образуют фрамбониды – почковидные срастания, удалить которые из поровых каналов можно лишь специальными реагентами (Рис. 5).

С целью учета реакции активных наноминеральных фаз коллектора на физико-химическое воздействие на пласт нами предлагается, и было опробовано на ряде месторождений нефти Волго-Уральской провинции, проведение ли-

3 - 3 - 3 - 3 - 3
- 2 - 2 - 2 - 2 -
3 - 3 - 3 - 3 - 3
- 2 - 2 - 2 - 2 -
3 - 3 - 3 - 3 - 3

В целом эти структуры электрически нейтральны. Но природные пластинки содержат случайные примеси окислов другой валентности или ионов, что приводит к появлению у них нескомпенсированных электрических зарядов.

Природные глины в осадочных породах типа песчаника служат цементом, связывающим зерна кварца и располагаются, как правило, в межпоровых каналах. Зерна кварца, ошетиленные магнитными зарядами в среде терригенного коллектора, притягивают к себе противоположные магнитные заряды, среди которых попадают ионы с нескомпенсированным электрическим зарядом. В итоге по стенкам пор создается двойной электрический слой. Наполнение происходит и в межпоровых каналах на глинах.

Если в пористой среде происходит движение поровой жидкости (электролита), то она нарушает структуру слоя, что ведет к двум следствиям:

- 1) Возрастает фильтрационное сопротивление пласта;
- 2) Происходит набухание глин, что тоже ведет к падению проницаемости.

Этот механизм формирования гидропроводимости продуктивных пород через свойства надмолекулярных наноструктур лежит в основе оптимизации физико-химического режима разработки месторождений наряду с другими, не менее важными: геологическим, гидрогеологическим, гидродинамическим и теплопроводным. Только совместное рассмотрение и учет механизмов всех этих режимов позволит получить высокую степень извлечения нефти из недр.

толого-технологического картирования (Муслимов, Изотов, 2003), учитывающего распределение по площади пласта не только его фильтрационно-емкостных параметров, но и распределение активных наноминеральных фаз и особенностей их локализации. Наличие таких литолого-технологических планов позволяет рекомендовать переход к более оптимальным, селективным методам воздействия на пласт и его отдельных участков, учитывая литолого-минералогическую характеристику этих участков и их реакцию на используемые методы воздействия на пласт.

Литература

- Изотов В.Г. Глинистая составляющая терригенных коллекторов УВ Волго-Уральской нефтегазоносной провинции. *Сб.: Глины и глинистые минералы*. Изд-во ВГУ. Воронеж. 2004. 60-61.
- Изотов В.Г. Технологическая минералогия нефтяного пласта. *Сб. материалов РМО: Современные методы минералого-геохимических исследований...* С.-Пб. 2006. 140-142.
- Муслимов Р.Х. Современные методы управления разработкой нефтяных месторождений с применением заводнения. КГУ. 2003.
- Муслимов Р.Х., Изотов В.Г., Ситдикова Л.М. Литолого-технологическое картирование нефтяных залежей – основа выбора стратегии воздействия на пласт с целью оптимизации КИН. *Сб. Повышение нефтеотдачи пластов*. Казань. 2003. 552-560.