

ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИСПЕРСНОСТИ В ОБЪЯСНЕНИИ ПОВЕДЕНИЯ ВОДОНЕФТЯНЫХ ЗОН ПРИ ЗАВОДНЕНИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

DISPERSIBILITY CHARACTERISTICS IN EXPLAINING THE BEHAVIOR OF OIL-WATER ZONES DURING WATERFLOODING OF FIELDS IN EASTERN SIBERIA

*P. Tokmakova,
postgraduate student,
Tyumen Industrial University,
Tyumen.*

In the course of laboratory research of oil samples collected from Eastern Siberia fields it was discovered that there is a possibility of decrease in formation coverage and productivity rate due to waterproofing with formation of «water blocks». Analysis of the main characteristics in the process of liquid-liquid interaction which affects the flow behavior and the formation of water-oil emulsions, showed the formation of surface layers up to several molecular sizes thick, within which becomes possible self-formation of structured microemulsions in the presence of salts. This research explains the manifestations of viscous and structural-mechanical properties, as well as the main characteristics in understanding the mechanisms of the behavior of fluids in oil-water contact zones. Intermediate results of research of the non-Newtonian behavior of water-oil zones allow us to assert that the violation of the linear filtration law can be explained not only by the properties of pore channels, but also by the complex interaction of the properties of liquids.

Keywords: Eastern Siberia, waterflooding, mineralization, oil-water emulsion, microemulsion, phase boundary.

*П.Г. Токмакова,
аспирант,
Тюменский Индустриальный Университет,
г. Тюмень.*

Ключевые слова: Восточная Сибирь, заводнение, минерализация, водонефтяная эмульсия, микроэмульсия, граница раздела фаз.

ет градиент давления, но его может быть недостаточно для преодоления динамического градиента сдвига. При проектировании и анализе разработки месторождений в водонефтяных зонах необходимо учитывать особенности проявления вязкостных структурно-механических свойств. Очевидно, это возможно лишь при наличии данных об основных реологических характеристиках, полученных экспериментальным путем. Для решения таких задач в первую очередь необходимо установление закономерностей при взаимодействии «жидкость - жидкость» для определения основных межфазных характеристик в объяснении образования дисперсий в водонефтяных зонах [2, 3].

В лаборатории физико-химического анализа проведен ряд экспериментов, в которых были рассмотрены основные механизмы взаимодействия флюидов «нефть - вода» на территории Республики Саха (Якутия). Такой выбор обусловлен высокой минерализацией пластовых вод, которая достигает до 450 г/л на отдельных участках. Присутствие твердых веществ минерального характера способствует избирательному смачиванию фаз с образованием прочных бронированных слоев твердых частицы эмульгаторов, которые имеют значительно меньший размер чем капельки воды [4]. При этом нагнетаемый агент с минерализацией менее 1 г/л способствует образованию областей с промежуточной минерализацией, где содержание солей может меняться от максимального (исходная пластовая вода), до минимального (минерализация закачиваемой воды).

Эксперимент сравнительного характера предусматривает две модели нефти Восточной Сибири, с различными физико-химическими свойствами, нефть А и Б, вязкость которых при 20°C равна 26,6 и 19,3 мПа.с, а плотность 876,1 и 851,3 кг/м³, соответственно. Исследование проводилось в зависимости от вариаций состава пластовых и закачиваемых вод. Пластовые воды месторождений Восточной Сибири имеют преимущественное содержание ионов кальция, натрия и хлора, а при девиации минерализации от нуля до 450 г/л по мере движения воды в пласте преобладают катионы либо кальция, либо натрия. Для понимания основных механизмов взаимодействия «жидкость-жидкость» рассмотрены композиции нефтей с рассолами на основе хлорида кальция, хлорида натрия и дистиллированной водой (ДВ) как сравнительным эталоном.

Восточная Сибирь является перспективным регионом для создания новых центров добычи нефти и газа. Освоение и разработка на территории Республики Саха (Якутия) предъявляют повышенные требования к применяемым технологиям на всех этапах производственного процесса за счет множества осложняющих факторов. Переходная зона характеризуется аномалиями вязкости и сопровождается отклонениями от законов Ньютона и Дарси [1] что оказывает заметное влияние на процесс разработки нефтяной залежи, а фактические градиенты пластового давления меняются в широких пределах. Фильтрация происходит при таких градиентах давления, которые меньше и градиента предельного разрушения структуры, и динамического градиента сдвига, что приводит к неполному охвату пласта и, как следствие, к неравномерной выработке запасов нефти и уменьшению конечного коэффициента нефтеотдачи. Организация закачки в переходную зону увеличива-

После фазового взаимодействия в статических условиях в течении одной недели при пластовой температуре в одной из пробирок с моделями на этапе визуального сравнения наблюдалось нехарактерное движение мениска водонефтяного контакта при наклоне (рисунок 1).



Рис. 1. Нефть Б с раствором хлорида натрия после статического взаимодействия.

Самообразование гидроизолирующей переходной фазы формирует сомнения о простоте и однотипности механизмов взаимодействия жидкостей. Присутствие «водной блокады» сопровождалось изменением динамической вязкости нефтяной фазы. Изменение вязкостных свойств произошло для нефти с меньшей реологической характеристикой – вязкость нефти Б увеличилась на 4,5 мПа·с после взаимодействия с раствором хлорида натрия. Полученная реология характерна образованию водонефтяной эмульсии на границе раздела фаз, которое подтвердилось с помощью оптического микроскопа (рисунок 2). При формировании «водной блокады» на границе раздела фаз при взаимодействии водной и нефтяной фазы образуются поверхностные слои толщиной до 0,5 нм, которые, находясь в поле действия сил соседней фазы, обладают особыми реологическими и структурно-механическими свойствами [4].



Рис. 2. Оптическая микрофотография нефти Б после взаимодействия с раствором хлорида натрия.

Образование неструктурированных молекулярных слоев на границе раздела фаз объясняется присутствием в нефти сильно поверхностно-активных веществ, таких как нефтеносные и жирные кислоты, способствующие интенсивному диспергированию системы, при адсорбции на границе раздела фаз. Присутствие описанных ПАВ рассмотрены с помощью кислотного числа, которое является показателем содержания в нефти соединений кислого характера с помощью процесса титрования. Нефти А и Б показали результаты равные 0,42 и 0,86 мг/г КОН, соответственно. По результатам исследования нефть с явлением микродисперсности на границе раздела фаз, имеет наибольшее количество кислот, которые адсорбируются на границах раздела «вода – нефть» и имеют наибольшую межфазную активность с образованием монослоев, жидкокристаллических пленок и других коллоидных структур. В результате имеющиеся границы раздела фаз, которые могут наблюдаться по всей переходной зоне от нефти к воде, могут иметь повышенную вязкость, а из-за значительной толщины ее термодинамические и структурные параметры межфазной поверхности отличаются от аналогичных параметров объемной фазы того же вещества.

Исследуемая модель нефти, имеющая дисперсную структуру, была проанализирована с помощью хроматографического метода в объеме и на границе раздела. Низкомолекулярные n-алканы и их изомеры в нефтях значительно уменьшились после взаимодействия с солевыми растворами. Это объясняется их высокой подвижностью совместно с активностью внешней фазы. При условии того, что параметры в объеме и на границе раздела фаз могут значительно отличаться, то такие результаты говорят о перераспределении и концентрации этих компонентов между межфазной пленкой и внутренним объемом нефти при взаимодействии с солевыми растворами.

Таблица 1

Массовое распределение низкомолекулярных компонентов.

	Н-алканы, % масс	Изомеры, % масс
В нефть до взаимодействия	15,57	32,11
После взаимодействия с раствором CaCl_2	9,71	24,53
После взаимодействия с раствором NaCl	9,38	23,57
После взаимодействия с ДВ	15,07	30,58

Присутствие солей способствует не только активности компонентов к перераспределению и образованию дисперсий, но и формированию более толстого и прочного адсорбционного слоя на границе раздела фаз (рисунок 3).

Такие явления происходят из-за присутствия механических примесей, а, именно, кристаллов минеральных солей. Их частицы являются основными элементами структурной сетки, способствующими образованию пространственных ячеек во всем объеме дисперсной системы. В результате эмульсия становится структурированной, то есть переходит в совершенно новое состояние и стабильность эмульсии создается за счет эффекта «экранирования». Возникновение



Рис. 3. Фотография адсорбционного слоя на границе раздела фаз при минерализации солевого раствора 450г/л.

пространственных структур — переход от свободнодисперсных к связанно-дисперсным (агрегированным) системам кардинальным образом меняет основные для таких систем структурно-механические свойства. Они полностью утрачивают агрегатную устойчивость, но при этом становятся седиментационно-устойчивыми, так как наличие структурной сетки удерживает частицы дисперсных фаз, зафиксированные в ней, от осаждения. Вместе с тем такие системы утрачивают текучесть, легкоподвижность, их вязкость непрерывно растет с ростом дисперсности, а формирование псевдопластичности зависит от минерализации раствора [5]. В результате исследования вязкости структурообразованных эмульсий в зависимости от количества солей получена зависимость (рисунок 4).

Минерализация рассолов оказывает значительное влияние на формирование структуры эмульсии, при этом существует определенная концентрация солей, которая способствует наименьшей вязкости водонефтяных эмульсий, а при увеличении водной фазы наблюдается более значительная разность вязкостей.

Сложность разработки водонефтяного контакта обусловлена образованием неструктурированных молекулярных слоев, способствующих интенсивному диспергированию системы, гидроизолируя нефтяной поток.

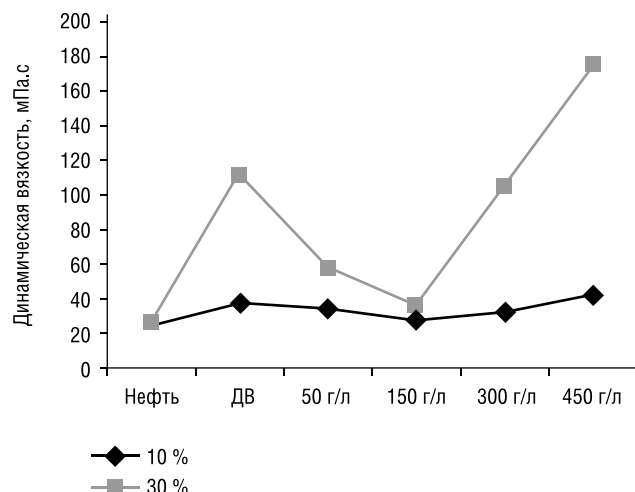


Рис. 4. Вязкость водонефтяных эмульсий в зависимости от минерализации солевых растворов при 10 и 30% обводненности.

Продemonстрированные результаты свидетельствуют о механизмах взаимодействия флюидопотока при дренировании различных типов коллекторов, не зависящих от контакта «жидкость-порода». При этом давление в пласте должно обеспечивать превышение предельного градиента скорости сдвига основываясь на реологии водонефтяной зоны, а нагнетаемый агент должен препятствовать образованию структурированной дисперсии.

Простые физико-химические исследования, такие, как кислотное число нефти, состав и минерализация пластовых вод могут учитывать нарушение линейного закона фильтрации в модели водонефтяной зоны. В совокупности предложенные исследования говорят об изменении размеров водонефтяных зон и их положения в пласте, характеризуя коэффициент геометрической эффективности вытеснения нефти водой, а формирование детального понимания водонефтяной зоны с учетом физико-химических механизмов работающих при заводнении на территории Республики Саха (Якутия) позволит уменьшить трудности, связанные с проектированием разработки подобных залежей. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Рузин, Л. М. Методы повышения нефтеотдачи пластов (теория и практика) [Текст]: учеб. пособие / Л. М. Рузин, О. А. Морозюк. - Ухта: УГТУ, 2014. - 127 с.
2. Газизов, А.А. Увеличение нефтеотдачи неоднородных пластов на поздней стадии разработки / А.А.Газизов. - Москва: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2002. - 638 с.
3. Келланд. Промысловая химия в нефтегазовой отрасли / Келланд, Малкольм А.; перевод с англ. Л.А. Магадовой. - Санкт-Петербург: ЦОП «Профессия», 2015. - 608 с.
4. Ребиндер, П. А. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико - химическая механика: Избранные труды / П. А.Ребиндер. - Москва: Наука, 1978. - 368 с.
5. Урьев Н. Б. Структурированные дисперсные системы / Н. Б.Урьев // Соросовский образовательный журнал. - 1998. - №6. - С. 42-47.