

ПОЛУЧЕНИЕ НЕФТИ РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА ИЗ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ

Калмыков А.Г. (МГУ им. М.В. Ломоносова), Бычков А.Ю. (МГУ им. М.В. Ломоносова),
Калмыков Г.А. (МГУ им. М.В. Ломоносова)*

В настоящее время повышенный интерес нефтяных компаний по всему миру сфокусирован на исследовании и формировании методик экономически выгодной разработки нетрадиционных сланцевых формаций. Это обусловлено снижением доли традиционных запасов в общем объёме запасов нефти и газа, а также трудностью извлечения нефти из сланцевых формаций, связанной с неоднородностью и изменчивостью по латерали строения формаций, большим количеством органического вещества, находящегося на разных стадиях зрелости, и разным количеством и химическим составом углеводородов в породах. В результате в настоящее время для большинства сланцевых формаций нет возможности точного прогнозирования распространения запасов нефти, которые можно было бы извлекать стандартным бурением, а многие пробуренные скважины оказываются «сухими». Это приводит к значительным убыткам со стороны нефтяных компаний.

В то же время, как было сказано выше, сланцевые формации обычно содержат большое количество органического вещества. Находясь на разных стадиях зрелости, органическое вещество определяет свойства породы, а также обладает определённым генерационным потенциалом, который в свою очередь показывает количество нефти, которое ещё может сформироваться в формации в результате катагенеза. Существует много различных разработок технологий воздействия на пласт с целью преобразования керогена и получения нефти, таких как пиролиз пород, закачка CO_2 и перегретого пара, воды в сверхкритическом состоянии и даже углеводородов [1], которые базируются на зарубежных разработках, сделанных в первую очередь в Америке. Однако ни одна из этих технологий не имеет готового решения и не применяется промышленно при разработке высокоуглеродистых формаций Российской Федерации. Скорее всего, это обусловлено сложностью строения и глубиной залегания формаций, прямых аналогов которым не существует.

Самой перспективной с точки зрения оцененных запасов нефти сланцевой формацией России является баженовская свита (БС, Западная Сибирь) [2]. Добыча нефти из неё ведётся уже на протяжении почти 50 лет, однако на данный момент её разработку нельзя назвать успешной. Из-за сложного строения и изменчивости свойств по латерали многие из пробуренных скважин оказываются либо «сухими», либо приток из них незначителен. Часто это связано с низкой степенью зрелости органического вещества, не достигшей главной зоны нефтяного окна. Поэтому при исследованиях помимо задач поиска продуктивных зон стоит перспективная задача разработать методику, позволяющую реализовать генерационный потенциал керогена и получать нефть в скважинах, имеющих стадию катагенеза ПКЗ-МК2.

Целью данной работы является экспериментальный подбор условий для реализации генерационного потенциала керогена в близких к пластовым условиям, анализ получаемых продуктов и выбор значений температуры и длительности воздействия, которые можно было бы применить при применении данной технологии непосредственно на скважине. Стоит отметить, что ранее было показано, что реализация генерационного потенциала керогена БС в лабораторных условиях возможна в присутствии воды и при температурах выше 300°C [3]. Однако давления эксперимента были ниже пластовых, а детальный анализ получаемых продуктов не проводился.

Эксперименты проводились в закрытых автоклавах, создавали закрытую систему, аналогичную системе в пласте. Давление в автоклаве регулировалось давлением насыщенного пара воды, которую добавляли в автоклав наряду с широкой фракцией измельчённого до размеров менее 3 мм образца. Температура варьировалась от 300°C до 400°C . В экспериментах использовались образцы породы БС, в которых ОВ находилось на стадии катагенеза от ПКЗ до МК4.

На первом этапе стояла задача доказать, что получаемая в результате теплового воздействия на образцы нефть является именно синтетической нефтью, а не выделенной в результате открытия закрытых пор естественной нефтью или экстрагированными при температуре сорбированными

соединениями. Хроматографические исследования синтетической нефти, полученной при прогреве образца до 300°C и выдержке в течение недели, и сравнение полученных результатов с результатами для естественной нефти, добытой из того же интервала, а также результатами для хлороформенного экстракта, полученного из дополнительного куска данного образца без теплового воздействия, показали, что синтетическая нефть имеет существенные отличия от естественной нефти и экстракта, как по содержанию алифатических соединений, которых несколько меньше, так и по количеству и составу ароматической фракции. Таким образом, можно сделать вывод, что в результате гидротермального воздействия на образцы БС получается синтетическая нефть. Эти же доводы были подтверждены пиролитическими исследованиями, показавшими, что в результате такого теплового воздействия параметр S₂ снижается на 80%, в то время как при экстракции его уменьшение равно 20%.

На следующем этапе были поставлены эксперименты по тепловому воздействию на образцы БС с разной стадией зрелости при пластовых давлениях. Пластовые давления достигались за счёт заполнения автоклава водой до рассчитанного объёма. В экспериментах варьировались температура (300°C-400°C) и длительность воздействия (10 ч – 7 д). Количество синтетической нефти оценивалось весовым методом, а затем пересчитывалось в мас.% от общего содержания органического углерода (ТОС). Пример получаемых результатов для образца, находящегося на стадии зрелости МК2-3, приведён на рисунке 1.

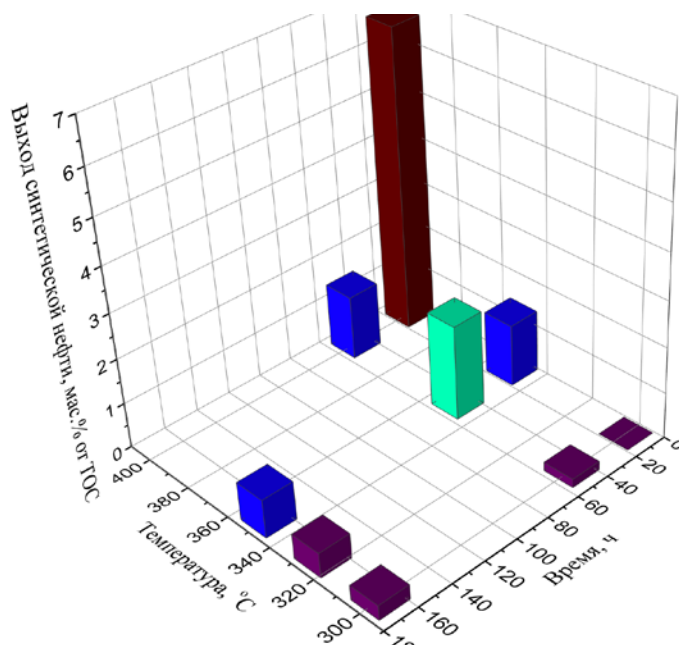


Рисунок 1. Влияние условий гидротермального воздействия на количество получаемой нефти, в мас.% от содержания ТОС.

В результате проведённых исследований было установлено, что для образцов, находящихся на начальной стадии преобразования (ПК3-МК1) максимальное количество углеводородов можно получить уже через 10 часов воздействия при температуре 350°C. Дальнейшее повышение температуры или времени воздействия ведёт к снижению выхода синтетической нефти, в то время как генерационный потенциал керогена реализован на 90-95%. В то же время при температуре 300°C реализация генерационного потенциала достигает всего 35-40%, а повышение времени воздействия позволяет увеличить количество выделяемых углеводородов при незначительной дальнейшей реализации генерационного потенциала.

В случае более поздних стадий катагенеза максимум выделяемых продуктов наблюдается при более высокой температуре (400°C) за те же 10 часов воздействия. Однако в данном случае повышение длительности воздействия при 350°C и особенно при 300°C может приводить к увеличению выделяемой нефти, достигая максимума для 350°C через 2 дня воздействия, а максимум для 300°C не достигается и за 2 недели. Таким образом, в зависимости от стадии катагенеза можно подобрать

условия максимального получения нефтепродуктов при пластовых давлениях, при этом длительность воздействия составляет не более 10 часов.

В проведённых ранее исследованиях было показано, что при температурах выше 300°C в составе получаемой нефти могут наблюдаться смолисто-асфальтеновые соединения, а помимо крекинга керогена и вторичного крекинга нефтяных продуктов, обуславливающего снижение количества получаемой нефти, может происходить процесс коксования керогена. Для проверки данных предположений были проведены анализы состава получаемых нефтей методом сверхточной хроматографии высокого разрешения, а также ЯМР исследования керогена. Результаты сравнения составов синтетических нефтей, полученных при разных условиях, приведены на рисунке 2. Нефть 1 была получена при 300°C и тепловом воздействии в течение 1 дня, стадия катагенеза МКЗ, нефть 2 – 350°C, 2 дня, МК2, нефть 3 – 325°C, 1 день, ПКЗ

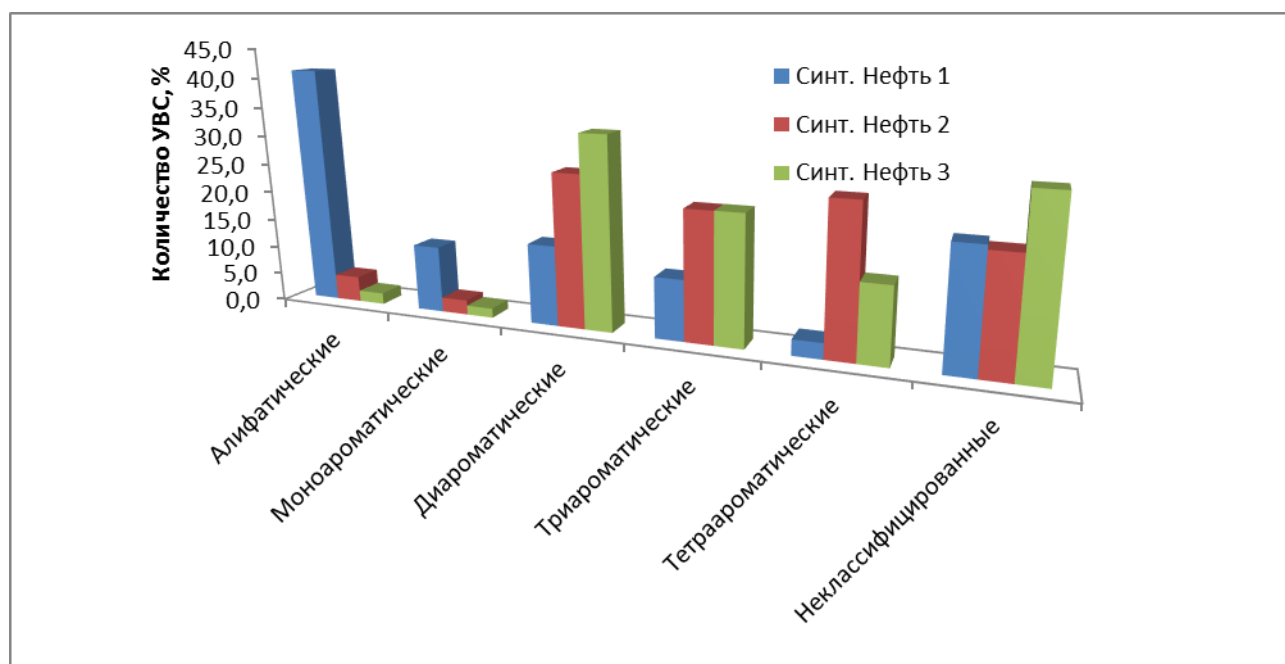


Рисунок 2. Изменение состава получаемой нефти в зависимости от стадии зрелости керогена и условий синтеза.

Как видно из рисунка, нефти существенно отличаются по составу. При этом при 300°C состав нефти на 50% представлен алифатическими соединениями, доля которых снижается до 5% при подъёме температуры до 325°C. При этом для образцов с разной стадией зрелости керогена при разной температуре и длительности воздействия состав нефтей будет варьироваться. Полученные результаты позволили сделать вывод, что подбором условий проведения процесса можно получать не просто синтетическую нефть, а нефть заданного состава. То есть фактически реализовывать идею фабрики коллектора нефти в пласте.

В то же время анализ ЯМР спектров керогена до и после теплового воздействия показал, что в керогене наблюдаются существенные изменения. Так, при 350°C и 400°C уже 10 часов воздействия доля алифатических углеродов снижается практически до нуля, в то время как доля ароматических углеродов значительно возрастает. Было установлено, что тепловое воздействие при температурах выше 300°C приводит к существенному изменению структуры керогена, его ароматизации, а также, вероятно, и коксованию. Таким образом, можно сделать вывод, что при повышенных температурах часть генерационного потенциала преобразуется не в нефть, а в непреобразуемую часть или кокс, уменьшая количество синтетической нефти, которую можно получить.

На основании проделанной работы были сделаны следующие выводы:

- В результате теплового воздействия на образцы БС в присутствии воды при температурах 300°C -400°C можно реализовать до 95% генерационного потенциала керогена и получить

синтетическую нефть. Состав получаемой нефти отличается от состава естественной нефти и хлороформенного экстракта, подтверждая тезис о синтезе нефти из керогена.

- При пластовых давлениях из пород БС максимальное количество нефти можно получить через 10 часов воздействия, однако оптимальная температура зависит от стадии катагенеза керогена. При этом варьирование условий позволяет получать нефти разного состава, с разным количеством алифатических и ароматических соединений, что делает возможным реализацию идеи фабрики коллектора в пласте.
- Исследования керогена показали, что при повышенных температурах происходит частичная ароматизация и коксование керогена, что нежелательно с точки зрения максимальной реализации генерационного потенциала. В то же время именно данные температуры позволяют получать ароматические фракции в повышенном количестве, поэтому при прогнозировании выхода целевого продукта нужно учитывать не только условия воздействия, но и все процессы, которые могут протекать в пласте.
- Исследования распространения свойств БС и стадии зрелости органического вещества по территории, а также влияния состава породы на процесс крекинга керогена необходимы для подбора оптимальных условий и попыток реализации технологии теплового воздействия на пласт в присутствии воды/водяного пара.

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 15-17-00010).

Список литературы

1. Попов Е.Ю. Потенциал применения третичных методов воздействия на нетрадиционные углеводородные системы на примере баженовской свиты / Е.Ю. Попов, Т.М. Бондаренко, С.А. Добровольская, А.Г. Калмыков, Н.В. Морозов, А.А. Ерофеев // Нефтяное хозяйство. – 2017. – № 3. – С. 54-58.
2. Афанасьев И.С. Баженовская свита. Общий обзор, нерешенные проблемы / И.С.Афанасьев, Е.В.Гаврилова, Е.М.Бирун, Г.А.Калмыков, Н.С.Балушкина // Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть». – Москва, 2010. – № 5. – С. 20–25.
3. Бычков А.Ю. Экспериментальные исследования получения углеводородных флюидов из пород баженовской свиты при гидротермальных условиях / А.Ю. Бычков, Г.А. Калмыков, И.А. Бугаев, Г.А. Калмыков, Е.В. Козлова // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4.Геология. – 2015. – № 4. – С. 34–39.