

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ СИМУЛИРОВАНИЕ КАТАГЕНЕТИЧЕСКОГО  
ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ  
ПРИ ГИДРОТЕРМАЛЬНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ**

**А.Г. Калмыков, И.А. Бугаев**

*Научный руководитель профессор А.Ю. Бычков*

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
г. Москва, Россия*

В настоящее время повышенный интерес нефтяных компаний направлен на поиск и разведку, исследование и добычу нефти из высокоуглеродистых формаций, которые относят к трудноизвлекаемым запасам. Высокоуглеродистые формации обладают неоднородными, изменяющимися по латерали свойствами и сложным строением, что существенно затрудняет поиски и разведку запасов нефти, находящихся в естественных коллекторах, позволяющих разрабатывать залежь стандартным бурением вертикальных скважин. В последние годы всё чаще применяются специальные технологии для разработки таких формаций, в частности, на баженовской свите ведущие нефтяные компании бурят горизонтальные скважины с многостадийным гидроразрывом пласта. Однако для экономической эффективности даже в таком случае необходимо наличие коллекторов нефти с большой ёмкостью.

Другим перспективным направлением поиска технологии добычи из высокоуглеродистых формаций, характеризующихся повышенным содержанием органического вещества, особенно керогена, является изучение третичных методов воздействия на пласт, позволяющих преобразовать кероген в так называемую синтетическую нефть. Такая технология потенциально позволит существенно повысить добычу нефти и снизить роль естественных коллекторов при разработке баженовской свиты. В то же время понимание процессов катагенетического преобразования керогена позволит лучше прогнозировать расположение продуктивных зон для применения стандартных технологий.

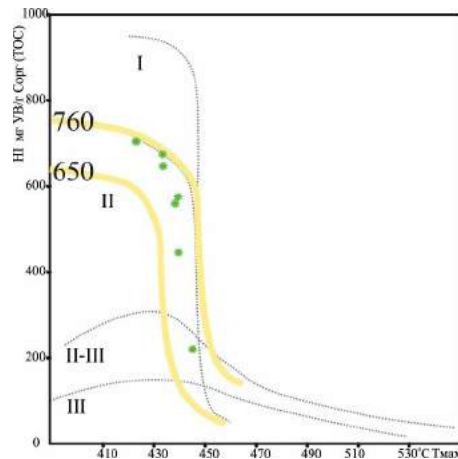
В данной работе катагенетическое преобразование керогена и получение синтетической нефти исследовалось в закрытых системах путём воздействия различными температурами в течение разного времени при пластовом давлении в присутствии воды. Давление создавалось расширением воды в автоклавах при заданных температурах. При этом предварительные эксперименты с использованием тяжёлой воды позволили установить, что она не участвует в процессе синтеза нефти, однако обеспечивает теплопроводность и сохраняет строение и свойства большинства неорганических компонентов породы, тем самым максимально приближая эксперименты к естественным условиям. В то же время порода является активатором и катализатором процесса.

На первом этапе исследования проводили на образцах породы, содержащих непреобразованный кероген (ПК3). Было установлено, что при гидротермальном воздействии в течение 10 часов при температурах 300-400°C получается синтетическая нефть в количестве до 12 мас.% от ТОС образца, при этом процент синтетической нефти от реализованного генерационного потенциала (параметр S2 после экстракции) составляет 20-25%. С повышением температуры большая доля генерационного потенциала реализуется за одно и то же время. Так, за 10 часов при температуре 300°C расходуется около 40% параметра S2, а при 400°C – 95%. Пиролитические исследования показали, что кероген из стадии ПК3 переходит в МК2, а затем и в МК4.

Поскольку в случае 300°C генерационный потенциал реализован лишь частично, были поставлены эксперименты с большим временем воздействия. Увеличение времени приводит сначала к увеличению количества образующейся синтетической нефти, однако через 5 дней количество нефти начинает постепенно уменьшаться, что обусловлено процессом вторичного крекинга нефтяных продуктов. Стоит отметить, что генерационный потенциал за 7 дней реализуется только на 50-60%. Таким образом, при низких температурах воздействия реализация катагенетического преобразования занимает более длительное время.

В результате проведённых экспериментов по гидротермальному воздействию при различных температурах и длительности прогрева было показано, что кероген можно контролируемо преобразовать до любой стадии катагенеза, которую проходит органическое вещество второго типа при преобразовании в породе за длительное время (Рис.1). При этом полученные результаты хорошо согласуются с расчётами по преобразованию керогена на основании данных кинетических экспериментов по деструкции керогена при пиролизе и вычисленной энергии активации. Таким образом, эксперименты в закрытых системах позволяют симулировать катагенетическое преобразование керогена, оценить процессы, происходящие в нём, и при разработке технологии прогрева пласта в скважине существенно повысить добычу нефти.

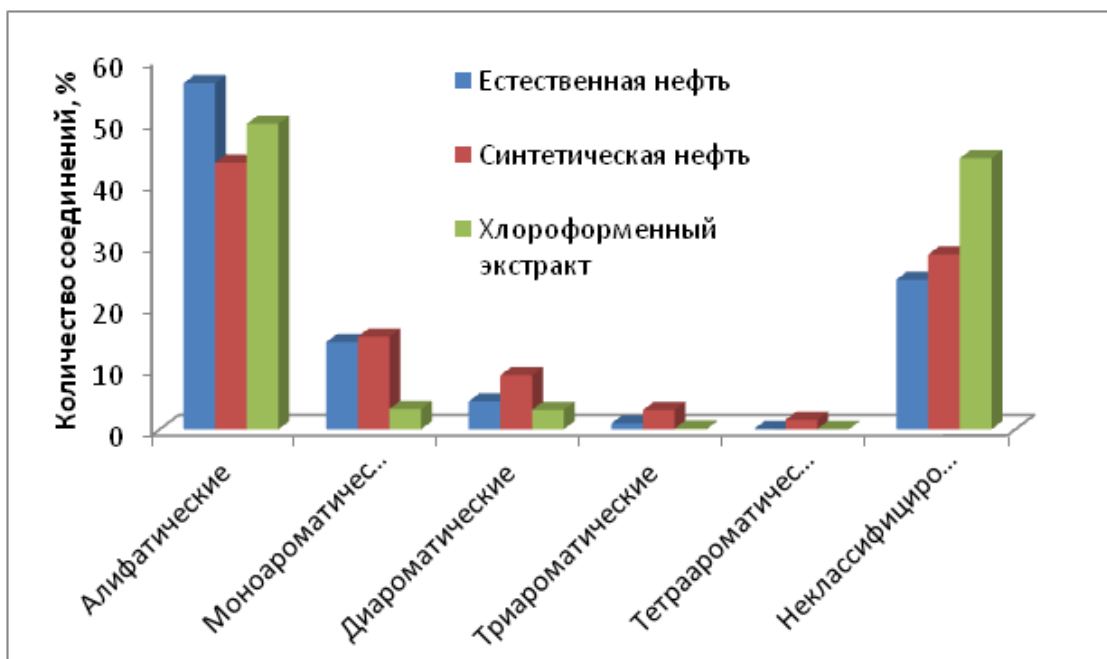
Стоит отметить, что подобранные условия для керогена низкой зрелости (ПК3) будут отличаться от условий, необходимых для получения синтетической нефти и преобразования керогена, уже находящегося на других стадиях катагенеза. Так, было установлено, что кероген, находящийся на стадии МК2 можно также довести до стадии МК4, однако для этого понадобятся более высокие температуры (350-400°C), а преобразование при 300°C идёт очень медленно, что хорошо согласуется с экспериментами при той же температуре на непреобразованном керогене, когда не удалось за длительное время достичь стадии МК3-МК4. В то же время в случае керогена на стадии МК2 можно большую долю генерационного потенциала перевести в синтетическую нефть (до 35%). Однако, как и в случае экспериментов с породами, в которых кероген находится на стадии ПК3, продукты со временем подвергаются вторичному крекингу. При прогреве образца в закрытой системе при 350°C и пластовом давлении в течение 24 часов количество продуктов уменьшается в 3 раза. Таким образом, с точки зрения технологии воздействия на пласт необходимо подбирать условия воздействия для получения максимального выхода синтетической нефти для образцов, находящихся на разной стадии катагенетической преобразованности.



**Рис.1. Модифицированная диаграмма Ван Кревелена изменения зрелости непреобразованного керогена (ПКЗ) после гидротермального воздействия при различных температурах и в течение разного времени**

Для оценки отличия получаемой синтетической нефти от естественной нефти и демонстрации, что данная нефть получается благодаря крекингу керогена а не в результате экстракции сорбированных в породе углеводородов, были проведены эксперименты по сравнению состава естественной и синтетической нефти и экстракта методом хромато-масс-спектрометрии на хроматографе высокой точности Pegasus® HRT 4D-GCxGC-HR TOFMS (LECO). Как видно из полученных результатов (Рис.2), синтетическая нефть содержит гораздо большее количество ароматических соединений. При этом синтетическая нефть по составу ближе к естественной нефти, чем к сорбированным битумоидам. Стоит отметить, что изменение условий воздействия позволяет получать синтетическую нефть различного состава, что представляет большую перспективу для целевой добычи определённых соединений третичными методами.

В результате проделанной работы можно сделать следующие выводы. Третичные методы воздействия обладают высокой перспективой для повышения добычи нефти из высокоуглеродистых формаций и получения заданных целевых органических продуктов. Эксперименты по моделированию преобразования достаточно точно позволяют оценить процессы, происходящие в керогене при катагенезе и в сочетании с данными о процессах, происходивших в породах (образование разломов, гидротермальные процессы), могут в будущем повысить точность прогнозов расположения залежей нефти в сложных по строению формациях.



**Рис.2. Различия в составе естественной нефти, синтетической нефти и экстракта из образца баженновской свиты.**

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