
ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ТЕРМОГАЗОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НЕТРАДИЦИОННЫЕ КОЛЛЕКТОРЫ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ

К.П. Игнатова, В.П. Малюков

Инженерный факультет
Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419

В статье проанализирована технология термогазового воздействия на нетрадиционные углеводороды трудноизвлекаемых запасов Баженовской свиты в Западной Сибири. Освоение и промышленная реализация технологии термогазового воздействия увеличит сырьевую базу и повысит эффективность разработки нефтяных месторождений.

Ключевые слова: нетрадиционные коллекторы, трудноизвлекаемые запасы, термогазовая технология.

В настоящее время приоритетным направлением прироста запасов нефти в мировой и российской нефтедобыче является развитие и промышленное применение современных интегрированных методов увеличения нефтеотдачи (МУН), которые способны обеспечить синергетический эффект в освоении новых и уже разрабатываемых нефтяных месторождений. Актуальным становится решение проблемы освоения все возрастающей доли трудноизвлекаемых запасов нефти.

Нетрадиционные коллекторы — это толщи, сложенные глинистыми, кремнистыми, вулканогенными, интрузивными, метаморфическими породами. В одних нефтегазоносность нетрадиционных коллекторов обычно сингенетична, в других она связана с приходом углеводородов из соседних толщ (эпигенетична).

В глинистых породах природные резервуары возникают в процессе катагенеза. Само возникновение пустот связано с генерацией нефтяных и газовых углеводородов и перестройкой структурно-текстурных особенностей минеральной матрицы породы. По мере погружения происходит обезвоживание глин, снижается их пластичность, увеличивается трещиноватость пород. Иногда глина — аргиллит — превращается в трещинный коллектор. Пример такого коллектора — Баженовская свита верхней юры Западной Сибири.

Баженовская свита (БС) входит в состав одноименного горизонта. Отличительной чертой этого горизонта считается битуминозность пород. На большей части Западной Сибири Баженовский горизонт, включая Баженовскую и частично Тутлеимскую, Марьяновскую, Даниловскую, Яновстанскую и другие свиты, представлен битуминозными аргиллитами.

Для битуминозных и обогащенных органическим веществом пород часто используется термин «черные сланцы». Применительно к БС устоявшимся термином остается «битуминозный аргиллит». Термин этот изначально использовался для того, чтобы подчеркнуть существенное отличие пород БС от вмещающих.

Как правило, запасы называют трудноизвлекаемыми, если для их разработки необходимо затратить повышенные финансовые, трудовые и материальные ресурсы, использовать нетрадиционные технологии, специальное оборудование, реагенты и материалы.

К категории трудноизвлекаемых запасов относятся и запасы на большой глубине в ачимовских и тюменских пластах Западной Сибири, запасы в глинистых отложениях (Ставрополье) и Баженовской свите (Западная Сибирь), сильно выработанные месторождения с битуминозной нефтью (Урало-Поволжье, Татария). Общая доля трудноизвлекаемых запасов в общей структуре сырьевой базы может быть оценена приблизительно в 60%.

Отложения БС распространены в центральной части Западно-Сибирской низменности на площади более 1 млн км². Особенность Баженовской свиты заключается в том, что она высоконасыщена нефтью высокого качества — без вредных примесей, легкая, малосернистая.

Углеводородные ресурсы Баженовской свиты содержатся в двух формах:

- в органическом веществе — керогене;
- форме легкой нефти, являющейся продуктом генерации органического вещества — керогена.

Состав пород Баженовской свиты определяется соотношением биогенной и терригенной составляющих (рис. 1).

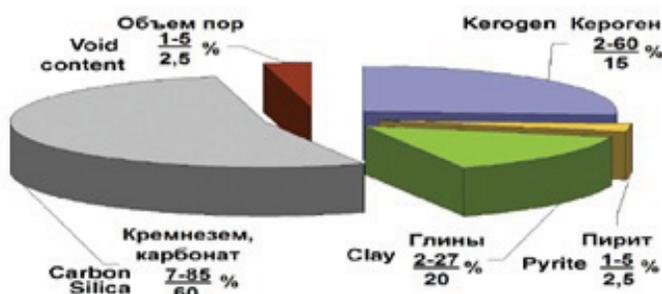


Рис. 1. Минерально-компонентная модель Баженовской свиты

Баженовская свита представлена плотными глинистыми породами, которые считаются нефтематеринскими, то есть содержат аномально высокое количество преобразованного органического вещества, генерировавшего нефть.

Нефтекерогеносодержащие породы представлены двумя принципиально отличными типами:

- микротрещиноватым (порово-трещиноватым) коллектором — матрицей, которая практически непроницаема при сложившихся к настоящему времени пластовых условиях (давлении и температуре);
- макротрещиноватым (трещинно-кавернозным) коллектором, нефтеотдающим при реализации традиционных способов разработки, хотя и эти коллекторы в обычных условиях характеризуются весьма неоднородной областью дренирования.

Вероятность обнаружения подобных залежей перспективна в районах с повышенным температурным градиентом. Это прежде всего Мансийская синеклиза с Красносельским, Салымским, Сургутским районами и территориями, прилегающими к ним.

Впервые промышленные притоки нефти из Баженовской свиты получены в 1967 г. в скважине Салымского месторождения, при испытании которой получены притоки нефти дебитом 5 м³/сут. и газа дебитом 1000—1200 м³/сут. Необычность баженовского резервуара Салымского месторождения заключается в том, что коллекторы приурочены к микрослоистым, листоватым аргиллитам с межслоевой пустотностью с высоким содержанием органического вещества. Наиболее перспективным объектом являются карбонатные прослои, протяженность которых может составлять несколько километров.

Микротрещиноватый коллектор (матрица) является нефтеотдающим в макротрещиноватый коллектор легкую нефть, образующуюся в процессе генерации керогена. БС следует рассматривать как толщу, состоящую из интервалов коллекторов, отдающих нефть из пласта в скважину, и матрицы, отдающей нефть в интервалы-коллекторы. Нефтеотдающие интервалы обеспечивают 30%, матрица — 70% добычи нефти.

Отложения Баженовской свиты представлены тонкослоистыми, иногда тонкокомковатыми и пятнистыми углеродсодержащими глинисто-кремнистыми и известково-глинистыми отложениями. На рис. 2 представлены образцы керна пород Средне-Назымского месторождения.



Рис. 2. Образцы керна пород Средне-Назымского месторождения

Задача определения и корреляции типов пород осложняется тем, что разрезы БС, охарактеризованные керном, значительно различаются даже в соседних скважинах.

Свойства нефти Средне-Назымского месторождения изучены по поверхностной пробе скв. 219, глубина отбора 2300 м (интервал 2720—2735 м). По результатам лабораторных исследований нефть характеризуется как легкая с плотностью 0,828 г/см³, малосернистая (серы 0,49%), малопарафинистая (1,76%). Вязкость пластовой нефти в пластовых условиях составила 0,62 мПа*с, газосодержание — 126 м³/т, объемный коэффициент — 1,29.

Основные геолого-физические параметры: средняя проницаемость $4,2 \cdot 10^{-3}$ мкм², пластовая температура 108 °С, начальное пластовое давление 33,1 МПа, текущее пластовое давление 17—23 МПа.

Отложения Баженовской свиты представляют собой уникальный по своей перспективности объект нефтедобычи. Основные нетрадиционные запасы углеводородов России сосредоточены именно в нефтематеринской породе Баженовской свиты и представлены высококачественной малосернистой нефтью и углеводородными газами.

Высоконефтенасыщенные глинистые отложения Баженовской свиты имеют практически повсеместное распространение в пределах центральной части Западно-Сибирской низменности. Суммарные ресурсы нефти в них оцениваются в размере 0,8—2,1 трлн т, а потенциал прироста извлекаемых запасов нефти оценивается в размере не менее 30—40 млрд т.

В отличие от ближайшего аналога — нефтеносных сланцев, в породах Баженовской свиты наряду с легкой нефтью, занимающей пустоты, углеводороды содержатся также в связанном виде, в сапропелевом веществе — керогене, который является составной породообразующей частью Баженовской свиты.

В настоящее время выявлены следующие особенности пород Баженовской свиты: тонкоплитчатая, слоистая и листоватая структура; низкие пористость и проницаемость коллекторов; аномально высокие пластовые давления в залежах; пониженная скорость прохождения упругих сейсмических волн через толщу аргиллитов; наличие вертикальных и горизонтальных трещин; хрупкость пород.

Специалисты исследуют различные способы работы с этими породами, включая внутрипластовое горение, низкотемпературное окисление, гидроразрывы, термические воздействия и др.

В России перспективы освоения все возрастающей доли трудноизвлекаемых запасов связаны с инновационным развитием способов разработки месторождений на основе интеграции тепловых и газовых МУН, к которым относится отечественный термогазовый метод интенсификации нефтедобычи и увеличения коэффициента извлечения нефти.

Термогазовый метод предназначен для повышения эффективности разработки месторождений легких нефтей. Он может применяться на месторождениях с низкопроницаемыми коллекторами, высокопроницаемыми монолитными пластами, в том числе после заводнения для извлечения остаточной нефти из кровельных частей, со значительным углом наклона пластов; массивного типа; в нефтематеринских породах Баженовской свиты.

Целесообразность опробования и внедрения термогазовой технологии на месторождениях БС предопределяется высокой нефтенасыщенностью порового пространства пород, большими геологическими запасами нефти, а также широким распространением на территории Западной Сибири и развитой инфраструктурой данных территорий.

Нефтеотдача залежей БС при использовании традиционных способов разработки составляет 3—5%.

В связи с этим большие перспективы в решении проблемы увеличения нефтеотдачи нетрадиционных коллекторов БС связаны с применением термогазовой технологии.

Впервые термогазовая технология при закачке воздуха и использования энергетического потенциала пласта для внутрипластовой трансформации закачиваемого воздуха в эффективный вытесняющий агент была предложена в 1971 г.

Метод основан на закачке воздуха и воды в пласт, и трансформацию первого в эффективные вытесняющие агенты за счет внутрипластовых окислительных процессов:

— в результате окислительных реакций непосредственно в пласте вырабатывается высокоэффективный газовый агент содержащий азот, углекислый газ и ШФЛУ (широкую фракцию легких углеводородов);

— температура пласта должна быть выше 65—70 °С;

— одновременная закачка воды и воздуха позволяет совместить эффекты термического и гидродинамического воздействия.

Особенностью термогазового метода является:

— использование природной энергетики пласта — повышенной пластовой температуры (свыше 60—70 °С) для самопроизвольного инициирования внутрипластовых окислительных процессов и формирования высокоэффективного вытесняющего агента;

— возможность осуществления активных самопроизвольных окислительных процессов при более низких температурах, так как реальные пласты содержат катализаторы (CuO, MnO₂, Cr₂O₃, NiO и др);

— возможность управления процессом термогазового воздействия путем создания оптимального водовоздушного отношения.

Метод термогазового воздействия на месторождениях легкой нефти создан на стыке тепловых и газовых методов увеличения нефтеотдачи и интенсификации нефтедобычи. Этот метод, несмотря на то, что он базируется на физико-химических процессах, сходных с теми, что лежат в основе термических и газовых методов, в том числе и метода внутрипластового горения, создан на принципиально новых физических основах, отличающихся от реализуемых в известных методах.

Внутрипластовые окислительные процессы обеспечивают внутрипластовую трансформацию закачиваемого в пласт воздуха в эффективный, смешивающийся с нефтью, вытесняющий агент. Формируемый в дренируемых зонах высокий уровень температуры (до 350 °С), наряду с высоким пластовым давлением (свыше 200—250 атм.), обеспечивает высокую эффективность вытеснения нефти водой закачиваемой в пласт вместе с воздухом. В результате следует ожидать, что в охваченных процессом вытеснения нефти зонах, смешивающийся газовый агент и горячая вода могут обеспечить практически полное вытеснение содержащейся в этих зонах пластовой нефти.

Закачка водовоздушной смеси обеспечивает создание в дренируемой зоне тепловой оторочки, скорость перемещения и уровень температуры которой должны регулироваться величиной водовоздушного отношения. Создаваемая в данной ото-

рочке тепловая энергия оказывает определяющее влияние на прогрев окружающих недренируемых зон и извлечения из них легких нефтей и углеводородных газов. Закачка воды и воздуха позволяет реализовать синергетический эффект термического и гидродинамического воздействий. При этом гидровоздействие должно обеспечить опережающее улучшение фильтрационных характеристик нефтекерогеносодержащих пород БС, что приведет к ускорению распространения теплового воздействия и повышению его эффективности, выражающейся в увеличении фильтрационно-емкостных характеристик пород и, в конечном счете, степени извлечения нефти из них.

На рис. 3 представлена схематизация температурного процесса, который происходит в пласте БС при закачке водовоздушной смеси. Отчетливо видны четыре зоны, выделена температурная кривая для плотного карбонизированного трещиноватого слоя.

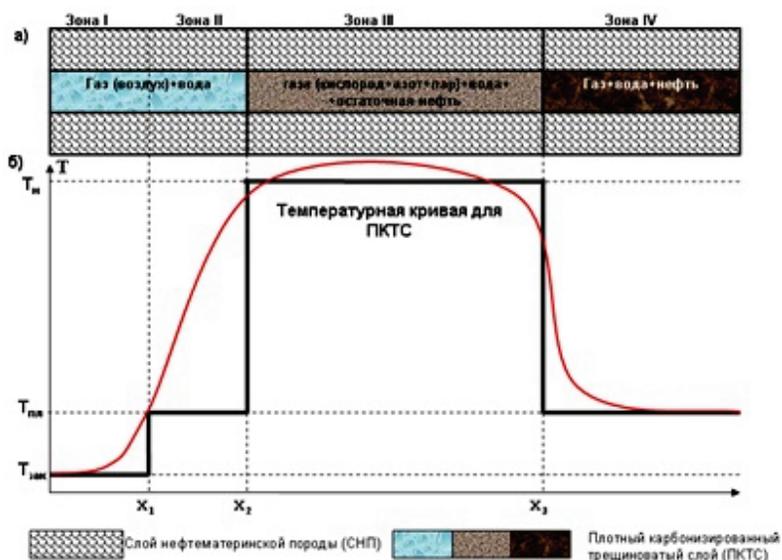


Рис. 3. Схематизация температурного процесса, который происходит в пласте БС при закачке водовоздушной смеси

Для отработки технологии термогазового воздействия на пласты Баженовской свиты создан опытный участок на Средне-Назымском месторождении ОАО «РИТЭК».

Участок для опытно-промышленных работ состоит из пяти скважин (одной нагнетательной и четырех добывающих) и комплекса наземного оборудования (воздушной компрессорной установки, насосной установки, дизельной электростанции, операторной, индивидуальных замерных установок на устье каждой из добывающих скважин, а также другого необходимого оборудования). В соответствии с данной схемой забор воздуха происходит из атмосферы, откуда он поступает в компрессорный блок, где сжимается до необходимого давления. После этого сжатый воздух подается в скважину, в которую также поступает вода из артезианской скважины через насосный блок.

Согласно результатам исследований кернов пород БС при их нагреве до 250—350 °С из микротрещиноватой породы извлекается легкая нефть, объем которой сопоставим и даже может превышать количество легкой нефти из макротрещиноватых пород.

На рис. 4 схематично показан опыт, где из 1 м³ породы было дополнительно извлечено 50—80 л нефти и 50—60 м³ газа при давлении в 200 атм и температуре 350 °С.



Рис. 4. Зависимость выхода нефти из породы от температуры и давления

В ходе опытной реализации термогазового воздействия были зафиксированы и проанализированы показатели содержания газа в добывающих скважинах. Также изменились основные характеристики нефти. Она стала менее плотной, изменились показатели динамической и кинематической вязкости.

Таким образом, применение данной технологии на месторождениях БС позволит достичь следующих результатов:

- максимальное извлечение легкой нефти из дренируемых пород;
- вовлечение в активный процесс извлечения легкой нефти из микротрещиноватой матрицы;
- вовлечение в разработку керогеносодержащих зон и извлечение из них углеводородов.

Освоение и промышленная реализация термогазового МУН имеет принципиальное значение для увеличения российской сырьевой базы нефтедобычи и кардинального повышения эффективности разработки нефтяных месторождений, особенно в Западной Сибири. Потенциал прироста извлекаемых запасов нефти за счет освоения и развития инновационного термогазового метода может составить:

- на месторождениях БС — 35—50 млрд т;
- на месторождениях легкой нефти с низкопроницаемыми коллекторами — 5—6 млрд т.

В последние годы в ряде российских нефтяных компаний ведется работа по обоснованию и подготовке промысловых испытаний термогазового МУН в различных геолого-промысловых условиях.

Термогазовый метод позволяет вовлечь в эффективную разработку трудноизвлекаемые запасы нефти Баженовской свиты Западной Сибири, которые при существующем уровне техники и технологии не относятся к категории промышленных запасов.

Метод основан на закачке в пласт широкодоступных, а, следовательно, и дешевых агентов — воздуха и воды. Однако при реализации технологии потребуется большой объем эксплуатационных затрат. Существует ряд и других проблем, таких как отсутствие единого координирующего центра по проведению работ опробования и внедрения термогазовой технологии, а так же необходимость закупки дорогостоящих компрессоров за рубежом, так как в нашей стране данное оборудование не выпускается.

Наряду с этим освоение и масштабное применение технологии термогазового воздействия позволит увеличить степень извлечения углеводородов из Баженовской свиты до 30—40%. Для разработки нетрадиционных коллекторов Баженовской свиты данный метод является наиболее перспективным и целесообразным, как технологически, так и экономически.

Проведенная оценка показала целесообразность применения термогазового метода при освоении трудноизвлекаемых запасов нефти Баженовской свиты.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Боксерман А.А., Грайфер В.И., Кокорев В.И., Чубанов О.В. Термогазовый метод увеличения нефтеотдачи // Интервал. — 2008. — № 7 (114). [*Bokserman A.A., Grajfer V.I., Kokorev V.I., Chubanov O.V. Termogazovij metod uvelichenija nefteotdachi // Interval. — 2008. — № 7 (114).*]
- [2] Боксерман А.А., Лыков С.Н. Повышение нефтеотдачи путем сочетания внутрислоевого окисления нефти с заводнением. — М.: Итоги науки и техники, 1986. — Т. 17, ВИНТИ. [*Bokserman A.A., Lykov S.N. Povyshenie nefteotdachi putem sochetanija vnutriplastovogo okislenija nefti s zavodneniem. — M.: Itogi nauki i tehniki, 1986. — T. 17, VINITI.*]
- [3] Кокорев В.И. О целесообразности применения термогазового метода для разработки залежей, приуроченных к отложениям Баженовской свиты Западной Сибири // Нефтяное хозяйство. — 2010. — № 7. — С. 88—91. [*Kokorev V.I. O celesoobraznosti primenenija termogazovogo metoda dlja razrabotki zalezhej, priurochennyh k otlozhenijam Bazhenovskoj svity Zapadnoj Sibiri // Neftjanoe hozjajstvo. — 2010. — № 7. — S. 88—91.*]
- [4] Коржубаев А.Г. Инновационное развитие нефтегазового комплекса России: проблемы, условия, перспективы // Нефтяное хозяйство. — 2011. — № 5 — С. 46—49. [*Korzhubaev A.G. Innovacionnoe razvitie neftegazovogo kompleksa Rossii: problemy, uslovija, perspektivy // Neftjanoe hozjajstvo. — 2011. — № 5. — S. 46—49.*]
- [5] Патент РФ № 2139421. Способ разработки нефтяного месторождения / Боксерман А.А., Антониани Д.Г., Батурин Ю.Е., Бернштейн А.М., Кашик А.С., Мальшев А.Г., Сочин В.П. Заявл. 09.09.1998. [Patent RF № 2139421. Sposob razrabotki nefljanogo mestorozhdenija / Bokserman A.A., Antoniani D.G., Baturin Ju. E., Bernshtejn A.M., Kashik A.S., Malyshev A.G., Sochin V.P. Zjavl. 09.09.1998.]
- [6] Сонич В.П., Батурин Ю.Е., Мальшев А.Г., Зарипов О.Г., Шеметилло В.Г. Проблемы и перспективы освоения Баженовской свиты // Нефтяное хозяйство. — 2001. — № 9. [*Sonich V.P., Baturin Ju.E., Malyshev A.G., Zaripov O.G., Shemetillo V.G. Problemy i perspektivy osvoenija Bazhenovskoj svity // Neftjanoe hozjajstvo. — 2001. — № 9.*]

- [7] Славкин В.С., Алексеев А.Д., Колосков В.Н. Некоторые аспекты геологического строения и перспектив нефтеносности Баженовской свиты на западе Широкого Приобья // Нефтяное хозяйство. — 2007. — № 8. — С. 100—104. [Slavkin V.S., Alekseev A.D., Koloskov V.N. Nekotorye aspekty geologicheskogo stroeniya i perspektiv neftenosnosti Bazhenovskoj svity na zapade Shirotного Priob'ya // Neftjanoe hozjajstvo. — 2007. — № 8. — S. 100—104.]

INNOVATIVE TERMOGAS TECHNOLOGY OF IMPACT ON OIL RESERVOIR HARD TO RECOVER RESERVES OF BAZHENOV FORMATION

K.P. Ignatova, V.P. Malyukov

Engineering faculty
Peoples' friendship University of Russia
Ordzhonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115419

The article analyzes the impact of termogas technology on unconventional hydrocarbons of stranded Bazhenov Formation in West Siberia. Industrial development and implementation of technology to increase termogas impact of raw materials and improve the efficiency of the development of oil fields.

Key words: Unconventional oil and gas reservoirs, hard to recover reserves, termogas technology.