

МОДЕЛЬ МИГРАЦИОННО-АККУМУЛЯЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЕ, ВСКРЫТОЙ ТЮМЕНСКОЙ СВЕРХГЛУБОКОЙ СКВАЖИНОЙ (СГ-6)

О.И. Сиротенко, Г.И. Титова
(КамНИИКИГС)

Тюменская сверхглубокая скважина (забой 7502 м) пробурена во внутренней зоне Нижнепурского мегапрогиба на севере Западной Сибири. Надым-Пурская нефтегазоносная область, в которой расположена сверхглубокая скважина, характеризуется широким диапазоном нефтегазоносности как по стратиграфии (от палеозойского фундамента до меловых отложений), так и по глубине (до 5 км) и представляет повышенный интерес в научном и практическом отношении.

Баженовская свита позднеюрского возраста находится в рассматриваемом разрезе на катагенетических уровнях МК₁—МК₂ в условиях современных температур 95...100 °С и АВПД с $K_a > 1,3$. В распределении жидких и газообразных углеводородов (УВ) в рассматриваемом объекте отмечаются определенные закономерности, интерпретация которых достаточно противоречива [2, 4, 7 и др.].

Новые данные по газам термохроматографии ($T = 200$ °С) позволяют существенно прояснить картину распределения углеводородов и первичных миграционно-аккумуляционных процессов в баженовской свите и дополняют наши представления, полученные при предыдущих исследованиях [5, 8].

Новые данные по газам термохроматографии позволили уточнить интервалы микроаккумуляций углеводородов в баженовской свите скважины СГ-6. Механизм первичных миграционно-аккумуляционных процессов зависит от структуры, литолого-геохимических и петрофизических параметров нефтематеринских свит. Первичная миграция нефти в баженовской свите происходила в газорастворенном состоянии.

The new data on the thermochromatography gas gave the possibility more exactly to indicate the hydrocarbons microaccumulations in the Bazenov source rocks of the SG-6 well. The mechanism of the initial migration-accumulation processes depends on structure, lithological, geochemical and petrophysical parameters of the source rocks. The primary migration of the oil in the Bazenov shales was realised in the gas-soluble state.

По распределению битумоидов и газов баженовская свита в скважине СГ-6 подразделяется на три части (рис. 1).

Кровельная часть (интервал 3783...3802 м) отличается повышенным содержанием сингенетических (38 %) и паравтохтонных (12 %) битумоидов. Среди последних преобладают нейтральные ($K_n = 2,7...4,0$) битумоиды состава: масла — 51,2 %, смолы — 33,5 % (легкие — 11,8 %, тяжелые — 21,7 %), асфальтены — 15,3 %. Рассчитанные нами по элементному составу (данные А.Э. Конторовича, ИГНГ СО РАН) коэффициенты эмиграции для кровельной части находятся в пределах 0,4...0,5. К верхней части свиты приурочены и максимальные выходы десорбированных (температура десорбции — 200 °С) углеводородных газов (C_{2+} высшие). В их составе доминируют

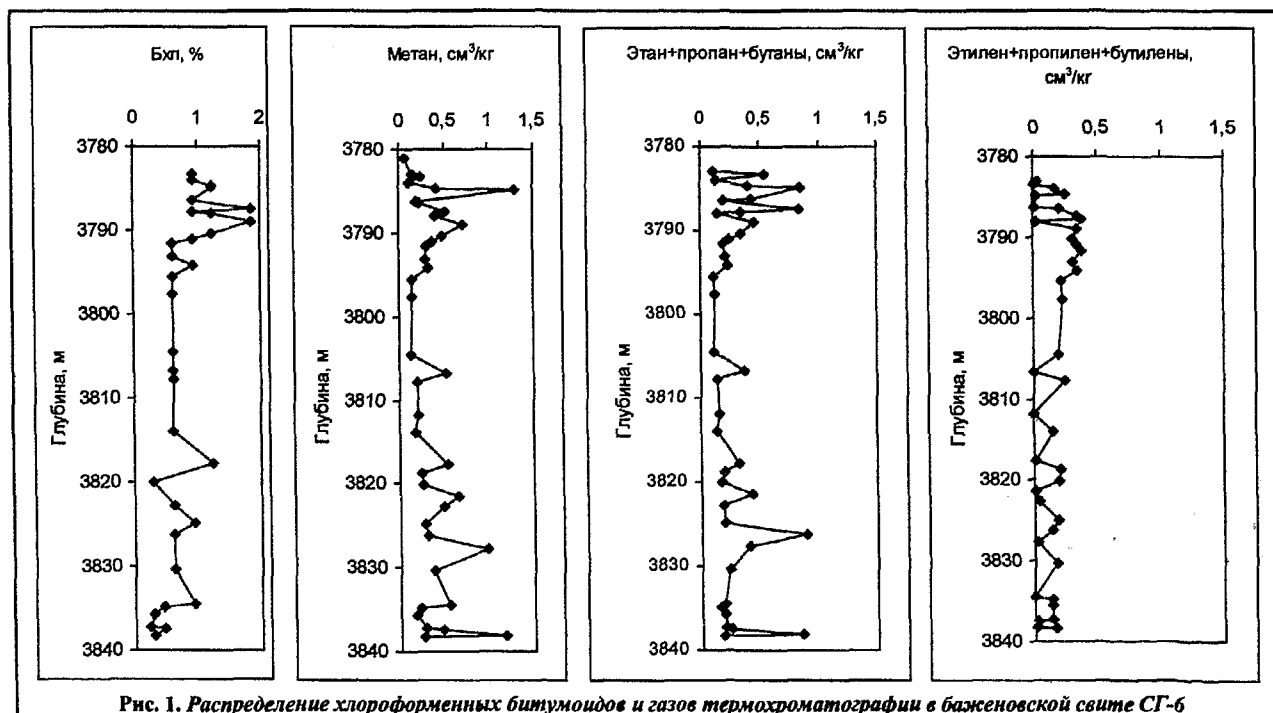


Рис. 1. Распределение хлороформенных битумоидов и газов термохроматографии в баженовской свите СГ-6

гомологи метана предельного ряда — 64,1 %, на долю метана приходится 23,8 % (см. рис. 1). Наблюдается тесная связь между составом битумоидов (а именно, его нейтральностью — K_n) и выходом сорбированных газов C_{2+} выше, коэффициент корреляции составляет 0,61. Максимальное содержание углеводородных газов особенно присуще пропласткам с углистым пиритизированным аргиллитом.

Центральная часть баженовской свиты (интервал 3802...3824 м) заметно отличается от кровельной и подошвенной преобладанием в породах сингенетичных битумоидов (45 %) и паравтохтонных (37 %) разностей. Последние приурочены к небольшим участкам с повышенной проницаемостью на глубинах 3812...3814 и 3822...3824 м. Наиболее плотный (непроницаемый) интервал 3795...3805 м характеризуется присутствием только сингенетичного битумоида и пониженным выходом всех газов — как метана, так и его гомологов (см. рис. 1). В составе этих газов суммарное содержание (абсолютные значения) гомологов метана предельного ряда снизилось в сравнении с верхней зоной примерно вдвое и составило в среднем 0,5381 см³/кг, а для метана соответствующий показатель снизился в 1,7 раза (среднее значение 0,2212 см³/кг). Коэффициент нейтральности битумоидов здесь также несколько понижен (2,0). Коэффициент эмиграции жидких углеводородов для этой части свиты, рассчитанный по элементному составу, равен нулю.

Среди битумоидов в подошвенной части (интервал 3824...3844 м) половину образцов (51 %) составляют остаточные, на сингенетичные приходится 39 %, на паравтохтонные — 3 %. Коэффициент нейтральности битумоидов находится в пределах 2,0...4,0, составляя в среднем 2,6. Наиболее высокие значения коэффициента нейтральности битумоида, равно как и содержания петролейно-эфирных битумоидов (0,04...0,08 %), отмечены в интервалах с повышенной проницаемостью, а также в пропластках, представленных углистым пиритизированным аргиллитом (глубины 3825...3830, 3834...3835, 3837...3838 м). На этих же глубинах установлены повышенные содержания тяжелых углеводородных газов. Суммарный выход углеводородных газов возрос в сравнении со средней зоной в 1,3 раза, но не достиг значений, характерных для верхней зоны. При этом возрастает содержание метана, доля которого в сумме углеводородных газов составила здесь 38,3 % против 23,8 и 25,2 % для верхней и средней толщ, соответственно. В то же время если для вышележающих частей баженовской свиты наблюдается превышение C_{2+} над CH_4 в 3...5 раз и более, то в нижней части этот показатель уменьшается до 0,9...2,5. Коэффициенты эмиграции для битумоидов, рассчитанные по элементному составу, колеблются от 0,5 до 0,7.

Данные по газам закрытых пор (Э.М. Прасолов, ВНИГРИ) в целом подтверждают наблюдаемую картину: в закрытых порах баженовской свиты тяжелые углеводородные газы заметно преобладают над метаном. Метан практически отсутствует в за-

крытых порах верхней и средней частей свиты и появляется в заметных концентрациях (0,17...0,18 см³/кг) лишь в георгиевской свите, подстилающей баженовскую, в двух образцах из интервала 3843,1...3863,5 м, преобладая над гомологами метана (0,02...0,1 см³/кг).

Выявленные закономерности распределения битумоидов и газовых углеводородов фиксируют синхронность в распределении повышенных содержаний гомологов метана и нейтральных паравтохтонных битумоидов в совокупности с петролейно-эфирными битумоидами, приуроченных к более проницаемым пропласткам. При относительном сходстве компонентного состава газов — доминировании во всех трех частях баженовской свиты тяжелых гомологов метана предельного ряда (53,6...64,1 %) — наиболее обогащенной последними оказалась кровельная, наименее обогащенная — центральная часть свиты. Изучение связей в системе битумоиды — газы термохроматографии указывает на весьма тесные зависимости между метаном и хлороформным битумоидом (Бхл), C_{2+} выше и Бхл также в кровельной части. Кроме того, по всему разрезу свиты установлена тесная корреляционная связь между составом битумоида (в частности, коэффициентом нейтральности) и количеством тяжелых гомологов метана (коэффициент корреляции — 0,71).

Для уточнения природы зафиксированных особенностей распределения газов в свите были также рассчитаны некоторые коэффициенты, фиксирующие миграционные и аккумуляционные процессы в породах.

По мнению И.С. Старобинца и Н.Н. Ломейко (1975), непредельные углеводороды (этилен, пропилен, бутен) в газах залежей практически отсутствуют, в то время как в газах пород они обнаружены повсеместно. При отсутствии поступления газа извне наблюдается довольно четко выраженная положительная корреляция между непредельными (этилен, пропилен, бутен) и соответствующими предельными (этан, пропан, бутан) углеводородами. В случае проникновения миграционных газов в вышележащие отложения в породах заметно увеличиваются соотношения предельных и непредельных УВ и нарушается корреляционная связь между указанными двумя классами углеводородов. В качестве критериев преобладания миграционных газов над сингенетичными авторы предлагают следующие соотношения:

$$K_1 = (\text{этан} + \text{пропан} + \text{бутан}) / (\text{этилен} + \text{пропилен} + \text{бутилен});$$

$$K_2 = \text{метан} / (\text{этилен} + \text{пропилен} + \text{бутилен}).$$

В случае, когда $K_1 > 30...40$, $K_2 > 700...900$, $r < 0,4$, миграционные газы преобладают над сингенетичными; при $K_1 < 5...7$, $K_2 < 50...70$, $r > 0,6$, наоборот, преобладающими в породе являются сингенетичные углеводороды (коэффициенты рекомендованы для газовых аномалий над залежами) [6].

Распределение соотношений углеводородных газов термохроматографии в баженовской свите показано на рис. 2. Выделились отдельные толщи пород,

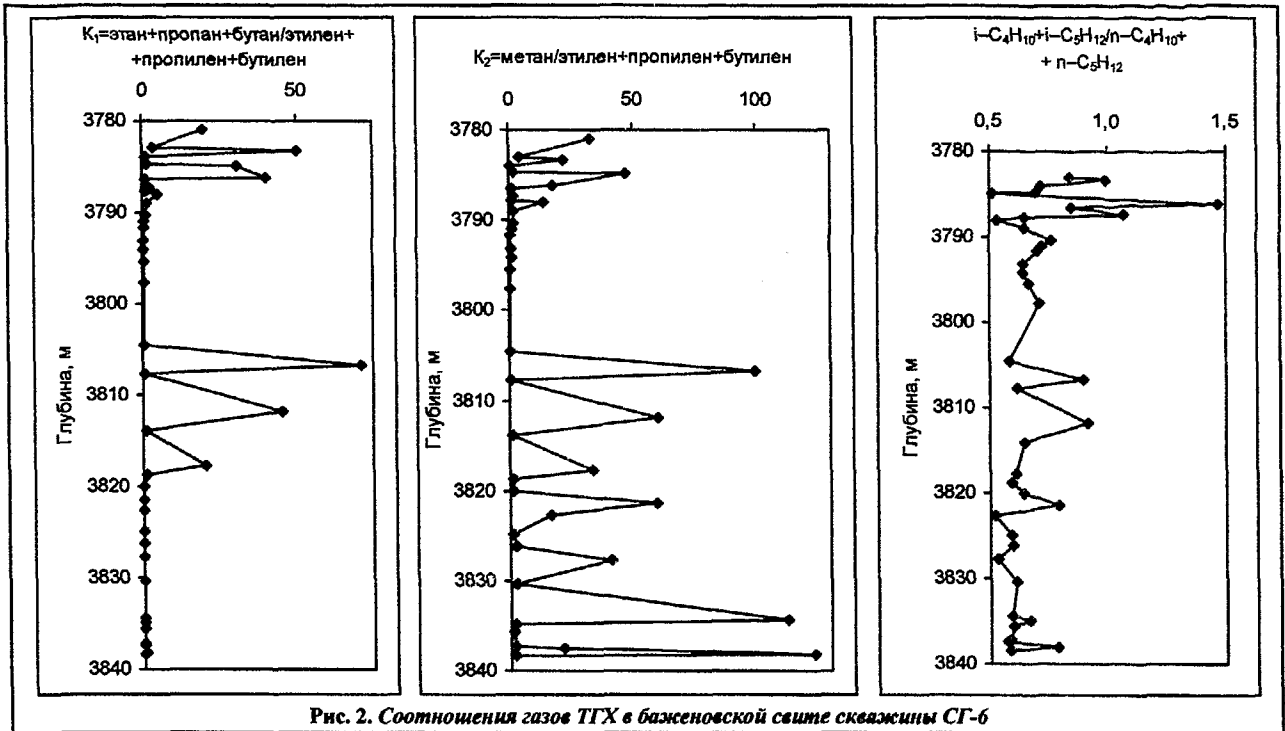


Рис. 2. Соотношения газов ТГХ в базеновской свите скважины СГ-6

обогащенные гомологами метана в кровле и центральной части свиты и метаном в подошве и центральной части, вероятно, за счет миграционных газов. Рост доли метана в подошве свиты (и частично в породах центральной части) мог происходить за счет эпигенетического CH_4 , о чем свидетельствует и возрастание соотношения K_2 . Однако нельзя исключить также влияние какой-то части газов деструкции. Коэффициенты корреляции между предельными и непредельными газовыми углеводородами составили: $r = 0,19$ ($n = 16$) для кровли и $r = -0,16$ ($n = 18$) для подошвы, что дополнительно может свидетельствовать о присутствии здесь миграционных газов.

Для отделения реальных газовых аномалий от повышенных фоновых значений в углистых породах Н.Н. Ломейко с соавторами предлагает в надугленосной части разреза провести последовательно термовакуумным и механическим методами дегазации терригенных и карбонатных пород двуступенчатую термическую дегазацию углей последовательно при температуре 95...110 и 190...210 °С в газах, извлеченных каждым методом дегазации. Минимально аномальным содержанием ($\text{C}_2\text{—C}_4$) в углистых породах на продуктивной площади авторы считают 0,5 см³/кг, в то время как фоновые значения этого параметра для непродуктивных площадей не превышают 0,1 см³/кг [1].

В разрезе базеновской свиты Тюменской скважины СГ-6 только содержание газов термохроматографии (гомологов метана) составляет от 0,2887 до 2,8436 см³/кг, особенно возрастая в углистых аргиллитах кровли (до 1,1082...2,8436 см³/кг) и подошвы (1,9326 см³/кг); среди них сумма ($\text{C}_2\text{—C}_4$) достигает 1,06 см³/кг, т. е. наблюдаемые аномалии явно выше фоновых и могут быть отнесены к сорбированным газам зон микроаккумуляций углеводородов.

Рассмотренная информация о специфическом составе битумоидов и распределении газов в зонах с повышенной проницаемостью пород привела к предположению о том, что миграция жидких углеводородов (перераспределение внутри свиты) происходила в газорастворенном состоянии, чем и объясняется синхронность колебаний концентраций жидких и газообразных углеводородов в разрезе свиты. Результаты дополнительного изучения изменения некоторых газовых коэффициентов по разрезу не противоречат сделанному предположению и позволяют определить преобладающий тип миграции.

Известно, что в случае диффузии газовая смесь обогащается нормальными бутаном и пентаном, коэффициент диффузии которых выше, чем соответствующих изомеров. Наоборот, при фильтрации мигрирующая смесь обогащается изо-бутаном и изо-пентаном, так как они лучше растворяются в сжатых газах, хуже — в воде и в меньшей степени сорбируются породами по сравнению с нормальными бутаном и пентаном. Показано, что в случае преобладания диффузионного переноса углеводородных газов величина, равная

$$K_3 = (i - \text{C}_4 + i - \text{C}_5) / (n - \text{C}_4 + n - \text{C}_5),$$

уменьшается по направлению миграции, в случае же преобладания фильтрационного переноса она увеличивается. Так же изменяются и коэффициенты $K_4 = i - \text{C}_4 / n - \text{C}_4$ и $K_5 = i - \text{C}_5 / n - \text{C}_5$ [1].

В рассматриваемом объекте все предложенные коэффициенты от подошвы к кровле по средним значениям для выделенных пачек явно возрастают: K_3 — от 0,6 до 0,8 (максимум, равный 1,5, отмечен в кровельном интервале); K_4 — от 0,9 до 1,0...1,1 (максимальное значение зафиксировано в кровле — 1,3); K_5 — от 0,2 до 0,35 (максимум также наблюдается в

кровельной части свиты и составляет 0,6) (см. рис. 2). Все это позволяет сделать вывод о том, что в баженовской свите в скважине СГ-6 происходила фильтрация углеводородов, как жидких, так и газообразных, в газорастворенном состоянии с последующей их аккумуляцией в проницаемых пропластках.

Полученные результаты исследований вполне согласуются с моделью генерационно-аккумуляционных процессов в материнских породах Неручева—Чистякова, отмечающих, что «закрытые» генерирующие системы являются лишь относительно «закрытыми» и что в связи с интенсивной генерацией летучих продуктов, возникновением АВПД они «приоткрываются». В моменты, когда давление превышало критическое, периодически происходит флюидоразрыв изолирующих пород с выбросом сжатых углеводородов из материнских пород [3].

В рассматриваемом случае такое перераспределение углеводородов происходит внутри достаточно неоднородной по литолого-петрофизическим характеристикам нефтематеринской свиты с формированием первичных зон микроаккумуляций внутри самой свиты. Поскольку наибольшей способностью растворять жидкие УВ обладают тяжелые углеводородные газы, очевидно, этим и объясняется наблюдаемая синхронность микроаккумуляций жидких углеводородов и газовых гомологов метана.

По-видимому, на данной стадии изученности несколько преждевременно говорить о присутствии аллохтонных битумоидов и преобладании эпигенетичного метана в баженовской свите, вскрытой скважиной СГ-6. Повышенные концентрации метана, по данным ТГХ, сопоставимы для кровельных и подошвенных углистых пропластков (интервалы 3787...3791; 3825...3830 и 3837...3838 м) (см. рис. 1) и вполне объясняются как увеличением генерации метана углистым веществом пород в этих интервалах, так и повышенной их сорбционной емкостью. К тому же и в закрытых порах подошвы CH_4 присутствует, а отсутствие или незначительное количество его в закрытых порах вышележающих пород может быть связано как с особенностями генерации УВ в «закрытой системе», так и с эмиграционными потерями, поскольку, будучи наиболее мобильной составляющей углеводородов, метан теряется в первую очередь. В то же время нельзя и полностью исключить подток метана из нижележащих отложений.

Таким образом, на современном этапе в баженовской свите наблюдаются первичные миграционно-аккумуляционные процессы, заключающиеся в перемещении углеводородов, как жидких, так и газообразных, из плотных частей свиты в проницаемые участки, а также в направлении от подошвы к кровле, хотя зоны микроаккумуляций УВ присутствуют во всех частях свиты и приурочены к интервалам с повышенной проницаемостью. Значительные количества жидких углеводородов и тяжелых углеводородных газов в углистых пропластках объясняются как повышенными сорбирующими свойствами породы, так и рассланцованностью и увеличенной трещиновато-

стью этих пропластков, создающими благоприятные условия для аккумуляции УВ. Информация о количественном содержании газов термохроматографии позволила уточнить интервалы аккумуляции флюидов в баженовской свите, вскрытой скважиной СГ-6.

Газовые коэффициенты, рассчитанные по содержанию газов ТГХ в породах, хорошо коррелируют с микроаккумуляциями жидких УВ и, следовательно, могут служить дополнительными индикаторами скопления углеводородов.

Миграция жидких углеводородов в баженовской свите (скважина СГ-6) происходит в газорастворенном состоянии, чем и объясняется наблюдаемая синхронность колебаний концентраций жидких и газообразных (газы ТГХ — 200 °С) углеводородов в разрезе свиты.

В работе использованы результаты химико-битуминологических анализов РОВ, выполненных в лаборатории геохимии пород и флюидов КамНИИКИГС под руководством М.Г. Фрик.

ЛИТЕРАТУРА

1. Газогеохимические показатели нефтегазоносности и прогноз состава углеводородных скоплений / Под ред. И.С. Старобинца. — М.: Недра, 1986. — 200 с.
2. Геохимические особенности нефтематеринских пород баженовской свиты севера Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции (на примере Тюменской сверхглубокой скважины) / М.Г. Фрик, Н.В. Быкова, И.С. Батова и др. // Результаты глубокого и сверхглубокого бурения, проблемы нефтегазоносности и рудоносности: Сб. науч. тр. — Пермь: КамНИИКИГС, 2000. — С. 39—58.
3. Неручев С.Г., Чистяков В.Б. Пластовые модели генерации, эмиграции и аккумуляции нефти в материнских породах // Органическое вещество, процессы его превращения и генерация углеводородов в условиях свободного и затрудненного оттока флюидов: Сб. науч. тр. — Л.: ВНИГРИ, 1993. — С. 146—157.
4. Роль исходного живого вещества различного происхождения в образовании нефти и газа ниже промышленно освоенных глубин на примере Тюменской сверхглубокой скважины (СГ-6) / Р.Н. Мурогова, С.Ф. Труфанова, П.Д. Жуков, Т.Л. Жуйкова // Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений. — 2000. — № 6. — С. 17—22.
5. Сиротенко О.И., Сиротенко Л.В. Эволюция процессов реализации нефтематеринского потенциала органического вещества на больших глубинах // Результаты глубокого и сверхглубокого бурения, проблемы нефтегазоносности и рудоносности: Сб. науч. тр. — Пермь: КамНИИКИГС, 2000. — С. 59—68.
6. Старобинец И.С. О геохимических доказательствах эпигенетичности основной части углеводородных газов пород опорных горизонтов // Тр. / ВНИИЯГГ. — М.: ВНИИЯГГ, 1973. — Вып. 16. — С. 23—32.
7. Типы автохтонных газов в породах баженовской свиты / Э.М. Прасолов, Л.Г. Травникова, В.Б. Чистяков и др. // Органическое вещество, процессы его превращения и генерация углеводородов в условиях свободного и затрудненного оттока флюидов: Сб. науч. тр. — Л.: ВНИГРИ, 1993. — С. 114—132.
8. Титова Г.И. Особенности состава газов Тюменской сверхглубокой скважины // Тюменская сверхглубокая скважина (интервал 0...7502 м). Результаты бурения и исследования: Сб. докл. Научное бурение в России. — Пермь: КамНИИКИГС, 1996. — Вып. 4. — С. 287—294.