

*зубков*

0136—8877

Для служебного пользования

Г0248

ОСОБЕННОСТИ ПОДСЧЁТА ЗАПАСОВ НЕФТИ  
В БАЖЕНОВСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЗАПАДНОЙ  
СИБИРИ

Тюмень 1985

### СООТНОШЕНИЕ НЕФТЕГЕНЕРАЦИОННЫХ И НЕФТЕВЫДАЮЩИХ СВОЙСТВ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ

Баженовская свита интересна в трех отношениях: во-первых, как самая богатая в осадочном чехле Западно-Сибирской плиты нефтематеринская толща, расположенная на границе основных нефтегазоносных комплексов - неокомского и верхнеюрского; во-вторых, как региональный экран, разделяющий эти комплексы, под которым в восточной половине плиты скопились крупные нефтяные залежи (пласт  $D_1$ ) и, наконец, б-третьих, как нефтеэмиссионная толща, содержащая в себе необычные залежи углеводородов, механизм образования которых так пока и не понят до конца. Большинство работ, посвященных баженовской свите, связано именно с последним ее качеством: в них рассматривается условия, способствовавшие образованию коллекторов в свите. Однако до настоящего времени промышленные нефтяные залежи известны лишь в Салымском районе и, по прогнозам различных исследователей, другие участки плиты имеют гораздо более низкие перспективные оценки. Таким образом, довольно проблематичные и не до конца ясные нефтеэмиссионные свойства баженовской свиты выдвинулись на первый план, а нефтеогенерационные совершенно необоснованно оказались в тени.

В работе использован объемно-генетический метод для оценки количества образовавшихся и эмигрировавших из баженовской свиты битумоидов. Суть этого метода изложена в работах /1, 2/, поэтому здесь лишь кратко отметим основные моменты.

Исходное органическое вещество ( $OB_{исх}$ ) представляется в виде суммы двух частей: мобильной, преобразующейся под действием возрастающей пластовой температуры в битумоиды и неуглеводородные летучие ( $C_1$ ), и инертной, представляющей собой в конце процесса нефте- и газогенерации инертный остаток с графитоподобной структурой ( $C_2$ ). Необходимые параметры и их связь с пластовой температурой определялась с помощью термогравиометрического метода /1/. Для расчетов использовались следующие уравнения:

$$OB_d = C_1 + C_2; OB_{исх} = 2,5C_2; C_{исх} = 1,5C_2; C_r = 1,5C_2 - C_1; C_\theta = C_r - C_0;$$

$$K_{он} = \exp(-0,0328T + 1,64);$$

$$K_{он} = \frac{C_1}{OB_{исх}}; K_\theta = \frac{C_\theta}{C_r};$$

где  $OB_d$  - содержание дебитумированного органического вещества (кероген) в породах свиты;

$C_{исх}$  - исходная величина мобильной части ОВ;

$C_r$  - количество образовавшихся битумоидов;

$C_\theta$  - количество эмигрировавших битумоидов;

$C_0$  - содержание битумоидов в породах свиты;

$K_{он}$  - коэффициент остаточной нефтеогенерации;

$K_\theta$  - коэффициент эмиграции битумоидов;

$T$  - современная пластовая температура.

Уравнения составлены и решены при условии, что максимальная степень превращения  $OB_{исх}$  в битумоиды равна 0,6 /1, 2/.

Для того, чтобы решить перечисленные восемь уравнений необходимо знать всего 3 параметра -  $OB_d$ ,  $T$  и  $C_0$ , т.е. из этих уравнений можно составить три независимых, однако тогда трудно было бы понять, как определяются перечисленные выше параметры.

Понятно, что выбранная величина максимальной степени превращения не является постоянной на всей территории плиты. В центральной ее части она, по-видимому, изменяется в пределах 0,5-0,6, а по мере приближения к бортам уменьшается до 0,3-0,4. Поэтому получаемые при расчетах величины имеют ориентировочный характер.

Схемы изменения выбранных исходных параметров ( $T$ ,  $OB_d$  и  $C_0$ ) на территории Западно-Сибирской плиты (рис. I) в общих чертах напоминают друг друга: происходит постепенное увеличение значений рассматриваемых параметров от бортов плиты к ее центральной части. Наиболее близок характер изменений изолиний  $T$  и  $C_0$ , особенно в западной половине плиты: увеличение  $T$ , как правило, сопровождается ростом содержания  $C_0$  и, наоборот, уменьшение  $T$  совпадает со снижением концентрации  $C_0$  (см. рис. I). Напротив, схемы распределения  $OB_d$  и  $C_0$  имеют значительные расхождения в центральной части плиты. Так, в участках с максимальными  $T$  и  $C_0$ , отмечаются пониженные значения  $OB_d$  и, наоборот, на соседних площадях с высоким содержанием  $OB_d$  величины  $T$  и  $C_0$  имеют небольшие значения, например, Талымский и Сургутский районы (см. рис. I). Такой характер поведения рассматриваемых параметров объясняется тем, что в самых высокотемпературных зонах наиболее интенсивно происходит преобразование  $OB_{исх}$  в битумоиды по сравнению с низкотемпературными, поэтому в них увеличивается содержание  $C_0$  и, соответственно, уменьшается концентрация  $OB_d$ .

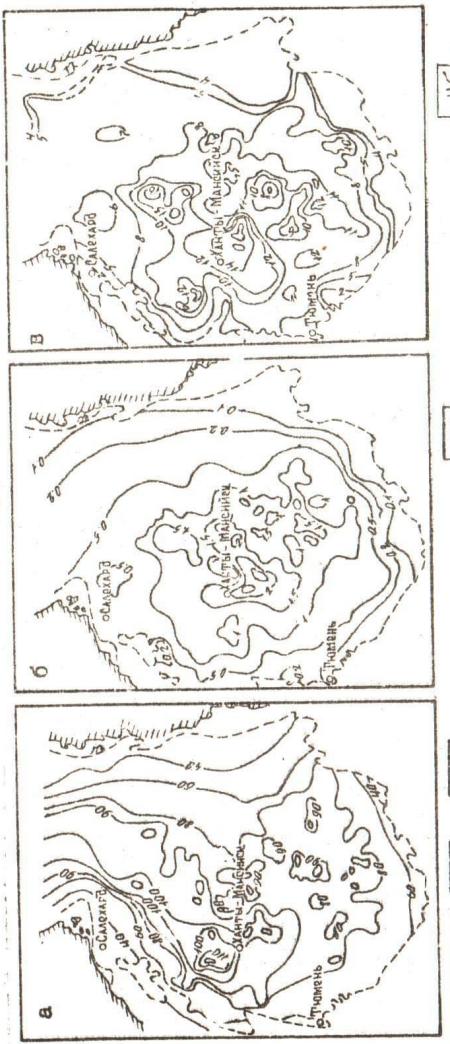


Рис. 1. Схемы изменения современных пластовых температур (а), содержания битумоидов (б) и дебитуминизированного органического вещества (в):  
1 - границы палеозойского обрамления; 2 - границы распространения отложений баженовской свиты и ее аналогов; 3 - изотермы; 4 - изолинии содержания дебитуминизированного органического вещества, %; 5 - изолинии содержания битумоидов, %; 6 - изолинии содержания ОВ и степени его преобразования.

Используя схемы изменения Т и ОВ<sub>д</sub> и приведенные выше уравнения, получим картину распределения удельной генерации битумоидов С<sub>Г</sub> (рис.2).

Так как отсутствие образцов баженовской свиты из низкотемпературных зон не позволило строго определить начальную температуру процесса нефтегенерации, принята формально определенная, равная 65°C /2/. Такая формализация закладывает ошибки, связанные с количеством генерированных битумоидов при температурах, меньших 65°C, так как и при них образуются битумоиды, хотя и с очень малой скоростью. Важно, что получаемые в результате такой формализации ошибки невелики и ими можно пренебречь.

Для удобства принятая единица г/100 г, которая означает количество образовавшихся битумоидов в граммах на 100 г породы. Удельная генерация нефти приводится на 100 г "сегодняшней" породы, а не исходной для удобства расчета количества эмигрировавших битумоидов и расчета K<sub>3</sub>. Если пересчитать на исходную породу с учетом прошедшего в битумоиды ОВ, то величина С<sub>Г</sub> уменьшится примерно на 2-4 единицы в зависимости от исходного содержания ОВ и степени его преобразования.

Высокие значения удельной нефтегенерации характерны для Красноленинского, западной и южной частей Сургутского, Салымского районов: до 10-12 г/100 г (см.рис.2). Совсем рядом, в юго-восточной части Сургутского района, в зоне пониженных Т, происходит резкое снижение значений С<sub>Г</sub>: до 2-4 г/100 г.

Повышенные величины С<sub>Г</sub> (8-9 г/100 г) отмечаются в Нижневартовском районе, к северу от Сургутского свода, в юго-восточной части Каймысовского свода и прилегающей части Нюрольской мегапланидине. Отмечается еще целый ряд положительных и отрицательных аномалий удельной нефтегенерации (см.рис.2). В целом на Западно-Сибирской плате можно выделить обширную территорию с наибольшей величиной удельной нефтегенерации в ее западной части. Эта территория охватывает Красноленинский, Салымский районы, южную, западную и северную части Сургутского свода, Надымскую мегапланину и ряд сопредельных с ними районов. Выделенная площадь оконтуривается изолинией удельной нефтегенерации 8 г/100 г (см.рис.2).

Оценим общее количество битумоидов, образовавшихся к настоящему моменту в отложениях баженовской свиты на площади, ограниченной изолинией K<sub>30H</sub>=0,6 или изотермой, равной 65°C. При этих

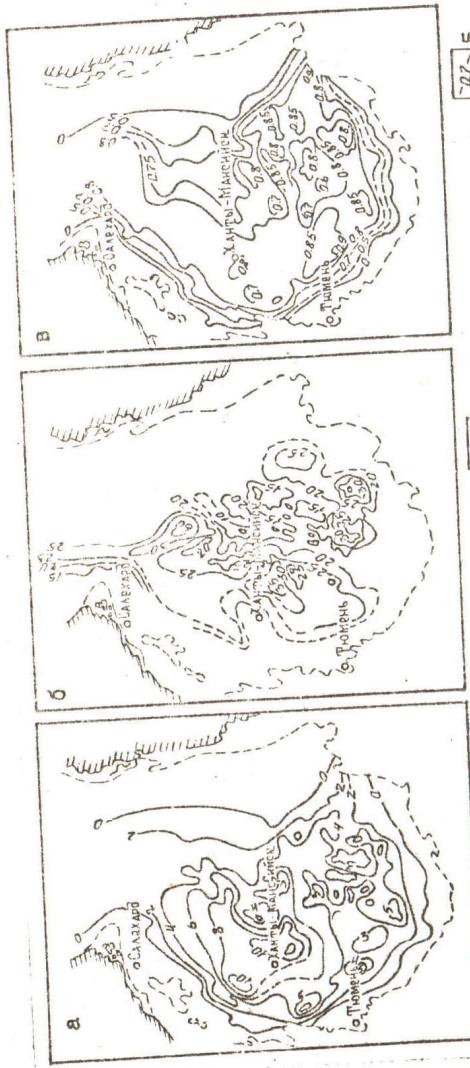


Рис.2. Схемы изменения удельной нефтегенерации (а), мощности баженовской свиты (б), коэффициента эмиграции битумоидов (в); 1, 2 - то же, что и на рис.1; 3 - изолинии удельной нефтегенерации,  $\text{g}/100 \text{ г}$ ; 4 - изопахиты, м; 5 - изолинии коэффициента эмиграции

условиях площадь отложений, оконтуриваемая этими изолиниями составит около 1,1 млн.км<sup>2</sup>. Принимая среднюю мощность отложений свиты, равной 20 м, а усредненную величину удельной нефтегенерации примерно равной 5  $\text{г}/100 \text{ г}$ , получим искомое значение – 2,5 трлн.т.

Используя схему изменения изопахит баженовской свиты и ее аналогов и приведенную выше схему удельной нефтегенерации (см. рис.2), можно более точно рассчитать общее количество битумоидов, образовавшихся в отложениях свиты. По этим схемам можно детально оценить количество прогенерированных свитой битумоидов на любой из выбранных территорий или нефтегазоносных районов, что важно при локальных прогнозных оценках их нефтегазоносности.

Толщина битуминозных отложений баженовской свиты увеличивается в западном и северном направлениях в среднем от 10 м (Нижневартовский район) до 30–50 м (Салымский район, Надымская мегавпадина), причем имеет максимальные значения примерно на той же территории, где отмечаются наибольшие величины удельной нефтегенерации (см. рис.2). Поэтому западная половина плиты обладает гораздо большим нефтегенерационным потенциалом, чем восточная (примерно в 2–3 раза).

Накладывая друг на друга схемы изменения  $C_T$  и  $C_O$  (см. рис.1, 2), легко рассчитать количество эмигрировавших битумоидов и построить схему изменения коэффициента эмиграции битумоидов ( $K_E$ ) (см. рис.2).

Рост величины  $K_E$  происходит очень быстро от прибрежных частей к ее центру. Так, на расстоянии примерно в 100–130 км его величина изменяется от 0 до 0,7. Однако такое резкое изменение  $K_E$  в прибрежных частях плиты не совсем отвечает действительности, а связано с формальным введением начальной температуры нефтегенерации ( $65^\circ\text{C}$ ). Наличие рассеянного битумоида в отложениях баженовской свиты за пределами границы нефтегенераций должно было дать отрицательный  $K_E$ , т.е. привнос, а не удаление битумоидов.

Из сказанного становится понятным, почему эту узкую полосу шириной примерно в 100 км по бортам плиты можно считать отчасти условной за счет ее искусственного сжатия введением формальной температуры начала нефтегенерации. На остальной территории эти ограничения снимаются и искажения не должны превышать точность определения содержания битумоидов и корректность полученных связей между  $K_{\text{он}}$ ,  $T$  и  $K_E$ .

На большей части распространения битуминозных отложений  $K_E$  равен 0,75–0,80, т.е. около 75–80 % от общего количества образовавшихся битумоидов эмигрировало из баженовской свиты, а осталось

в рассеянном состоянии лишь 20-25 %. Максимальные значения  $K_3$  характерны для западной части плиты и составляют около 0,8 и более (см.рис.2). Вдоль бортов плиты выделяется цепочка участков с повышенными значениями  $K_3$  - (более 0,8). Отмечается ряд площадей со сравнительно невысокими  $K_3$ : около 0,7, которые совпадают с участками, характеризующими линии относительно пониженным значениями  $T$ , либо малым содержанием OB<sub>d</sub>.

В целом по площади распространения битуминозных отложений довольно отчетливо выявляются следующие особенности поведения  $K_3$ . Во-первых, площади с максимальными значениями  $K_3$ , как правило, обладают наибольшим  $K_{\text{он}}$  (т.е. наибольшими пластовыми температурами). Во-вторых, минимальными  $K_3$  обладают участки распространения отложений свиты с пониженным содержанием OB<sub>d</sub> и с высокими значениями  $K_{\text{он}}$ .

Следовательно, на площадях с наибольшими пластовыми температурами и повышенным содержанием OB<sub>d</sub> процессы эмиграции происходят более интенсивно, чем в низкотемпературных. Это может объясняться, во-первых, термическим расширением образующихся битумоидов, что приводит к повышению порового давления и, соответственно, к интенсификации процессов эмиграции; во-вторых, низкими прочностными свойствами OB, поэтому чем выше его содержание в породе, тем легче и быстрее она уплотняется и, следовательно, интенсивнее эмигрируют битумоиды и, в-третьих, при низком содержании OB<sub>d</sub> может оказаться, что образовавшихся битумоидов не хватит, чтобы заполнить существующую в породе емкость, занятую первоначально поровой водой и, наконец, в-четвертых, возможно, что принятое нами максимальное значение  $K_{\text{он}}$  для периферийных районов сильно завышено из-за недоучета влияния гумусового типа OB в этих участках плиты.

Исключением из этого правила является Салымский район, в котором отмечается довольно низкий  $K_3$  (до 0,7) при высоких  $T$  (до 135°C). Возможно это связано с повышенным содержанием кремнезема, что значительно упрочняет скелет породы и препятствует отжатию образующихся в свите битумоидов, а также надежной изоляцией от проникаемых горизонтов.

Оценим общее количество битумоидов, эмигрировавших из отложений баженовской свиты. Принимая его среднее содержание примерно равным 1 %, получим, что в породах свиты содержится около 0,6 трлн.т рассеянного битумоида. Эта цифра характеризует геологические запасы битумоида в баженовской свите. Тогда количество эмигрировавшего

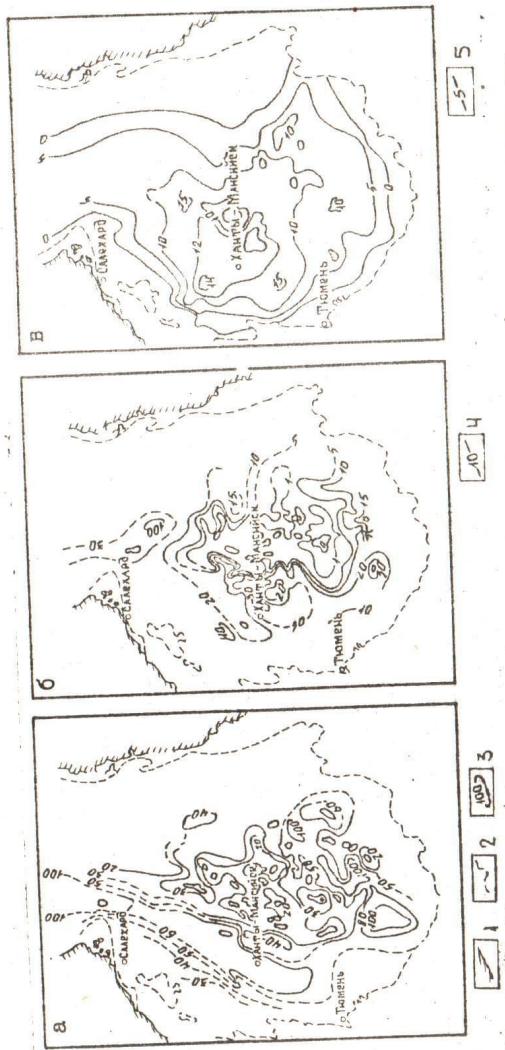
битумоида составит 1,9 трлн.т, что соответствует примерно 75 % от образовавшихся битумоидов.

Возникает вопрос огромной теоретической и практической важности: в каком направлении эмигрировали эти 1,9 трлн.т битумоидов? Исчерпывающий ответ требует постановки специальных исследований, которые могут служить темой отдельной публикации, поэтому рассмотрим эту проблему в упрощенном виде, а полученные на ее основании результаты будем считать предварительными.

Очевидно, что при прочих равных условиях, чем лучше изолированы баженовские отложения, тем с большей вероятностью в них сохраняется образовавшиеся битумоиды и, наоборот, чем хуже они изолированы, тем проще им эмигрировать.

Анализ схем изменения мощностей флюидоупоров, подстилающих и перекрывающих битуминсные отложения баженовской свиты (рис.3) показывает, что вышележащие проницаемые горизонты ачимовской толщи (пласти Б16-22) гораздо лучше экранированы от битуминозных отложений баженовской свиты, чем подстилающие (пласт Ю<sub>1</sub>). Второй важной особенностью является то, что пласт Ю<sub>1</sub> выклинивается (глинизируется) раньше; чем пласти Б16-Б22 при движении в западном направлении. Так, если васюганские песчаники исчезают уже на восточном склоне Сургутского свода, то ачимовские песчано-алевритовые тела отмечаются и в центральной и западной частях Сургутского свода. Кроме этого, если васюганские песчаники распространены почти повсеместно в восточной половине плиты, представляя собой своеобразное практически сплошное плащеобразное тело, то ачимовские проницаемые отложения скорее напоминают линзы или субмеридиональные вытянутые пальцеобразные толщи, слабо или почти не связанные между собой гидродинамически.

Глинистый экран, отделяющий битуминозные отложения от васюганских песчаников, изменяет толщину довольно закономерно: происходит его постепенное увеличение в западном направлении вплоть до полной глинизации пласта Ю<sub>1</sub> Иэопахита, равная 20 м, примерно соответствует границе распространения васюганских песчаников. В восточной и особенно юго-восточной частях плиты толщина верхнеюрского глинистого экрана незначительна: обычно 2-3 м, реже 4-6 м, а на ряде участков от 0 до 1 м. Эти участки, где битуминозные отложения непосредственно залегают на васюганских песчаниках, можно считать литологическими окнами, через которые битумоиды, образовавшиеся в



**Рис. 3.** Схемы изменения мощности флюидоупоров, перекрывающих (а) и подстилающих (б) баженовскую свиту, величины вторичной пористости (в): 1, 2 — то же, что и на рис. I; 3, 4 — изолахиты флюидоупоров, м; 5 — изодинии величины вторичной пористости, %

породах баженовской свиты, выжимались и выжимаются в пласт D<sub>1</sub> (см.рис.3).

Таким образом, в восточной, юго-восточной и южной частях Западно-Сибирской плиты отложения свиты слабо изолированы от верхневасюганских песчаников, а поэтому битумоиды, образовавшиеся в них, беспрепятственно эмигрировали в пласт  $D_1$ , образуя большое количество богатых промышленных залежей.

Утонение ачимовского глинистого экрана до 3-5 м в отличие от верхневасюганского наблюдается довольно редко и на небольших площадях. Непосредственное залегание ачимовских песчаников на битуминозных отложениях свиты также отмечается редко и площадь таких участков, как правило, не превышает 100-150 км<sup>2</sup>, а чаще еще меньше. На схеме такие участки выделяются в юго-восточной части Каймысовского свода, в северной части Нижневартовского свода, на ряде участков Сургутского свода (см. рис. 3).

Чаще всего сокращение глинистого экрана связано с размывом подачимовских глин, например, на Медвежьей, Западно-Таркосалинской, Вэнгапурской, Сардаковской, Янчинской, Таї-Бинской, вероятно Покачевской, Большой и других площадях. Иногда отмечается эрозионный врез в баженовскую свиту, как, например, на Коголымско-Монховой, Нонг-Еганской, а на Арктической, Новопортовской, Конитлорской, Федоровской и других площадях отмечаются участки, где отложения свиты полностью размыты. Эти участки также являются литологическими окнами, через которые баженовские битумоиды поступают в ачимовские проницаемые горизонты. Отмеченные участки утонения подачимовских глин или эрозионных врезов, как правило, совпадают с локальными поднятиями, расположенными на поднятиях второго порядка.

В западной половине плиты верхневасюганские песчаники глини-  
зируются, тем не менее качество изоляции баженовской свиты снизу  
и в этой части плиты хуже, чем сверху, так как здесь происходит  
полная глинизация ачимовской пачки и мощность глинистого экрана,  
перекрывающего свиту, достигает нескольких сот метров. (см.рис.3).  
В Салымском районе, на Красноленинском своде отмечаются участки с  
утонением абалакских глин до 5-10 м, поэтому в западной части пли-  
ты скорее всего баженовские битумоиды эмигрировали вниз, в тюмен-  
ские песчаники (пласт  $\Pi_2$ ), а в Шаймском районе (тутлеймская свита)-  
в пласты  $\Pi_{1-3}$ , хотя, конечно, нельзя полностью исключить возмож-

ность латеральной миграции, например, в западном направлении.

Интересно, что положение нефтяных месторождений в ачимовских отложениях слабо коррелирует с толщиной глинистого экрана, отделяющего их от баженовской свиты. Наоборот, месторождения нефти в васюганских песчаниках преимущественно расположены на площадях с небольшими по толщине глинистыми перемычками, поэтому можно утверждать, что нефти пласта  $\text{Ю}_1$  полностью являются баженовскими.

При преобразовании  $\text{OB}_{\text{исх}}$  в битумоиды и неуглеводородные летучие возникает вторичная емкость, величина которой зависит от содержания  $\text{OB}_{\text{исх}}$  и степени его преобразования /1, 2/. Формула, связывающая эти величины имеет вид:

$$V_{\text{пор}} = 2^3 (0.6 K_{\text{он}}) \text{OB}_{\text{исх}} / 0.17 \text{OB}_{\text{исх}} + 10,$$

где  $V_{\text{пор}}$  - объем вторичной емкости (в %).

Используя эту формулу и приведенные выше уравнения, построена схема изменения вторичной емкости в баженовской свите на всей территории ее распространения (см. рис. 3).

Центральная и западная части плиты оконтуриваются изолинией вторичной емкости 10 %. В западной части этой территории отмечаются площади с 15 и даже 20 % вторичной пористости (Красноленинский, Салымский и сопредельные с ними районы). Однако возникающая таким образом вторичная пористость не сохраняется, а в большей степени исчезает в результате уплотнения отложений свиты, причем одновременно выжимаются и образующиеся в ней битумоиды.

Используя схему изменения величины  $K_{\text{в}}$ , можно оценить в первом приближении степень сохранности этой пористости. Однако следует помнить, что  $K_{\text{в}}$  имеет более высокие значения, чем коэффициент уплотнения, так как даже при отсутствии уплотнения из-за различий в плотности  $\text{OB}_{\text{исх}}$  и образующегося битумоида, а также его последующего термического расширения  $K_{\text{в}}$  может достигать 0,1-0,3, в зависимости от термодинамических условий, существующих в свите.

Таким образом, проведенный анализ нефтегенерационных и емкостных свойств баженовской свиты позволяет сделать два основных вывода: во-первых, породы свиты являются в основном нефтегенерирующими (на 75-80 %) и в гораздо меньшей степени нефтевмещающими (соответственно на 20-25 %); во-вторых, образовавшиеся в свите битумоиды эмигрировали, главным образом, в подстилающие проницаемые горизонты верхне- и среднеюрского возраста (пласти  $\text{Ю}_1$ ,  $\text{П}_{1-3}$ ,  $\text{Ю}_2$ ), в меньшей степени (в восточной половине плиты) в перекрывающие ачимовские песчано-алевритовые пласти.

## Литература

1. Генерация битумоидов и формирование емкостного пространства в отложениях баженовской свиты. Зубков М.Ю., Ершов В.А., Прямоносова И.А. и др. - В сб.: Научно-технический прогресс при поисках и освоении нефтяных и газовых месторождений Западной Сибири. ЗапСибНИГНИ, Тюмень, вып. 63, 1984, с. 16-21.

2. Особенности состава и генерации битумоидов в отложениях баженовской свиты. Зубков М.Ю., Ершов В.А., Шакирова А.Х. и др. - В сб.: Строение и нефтегазоносность баженитов Западной Сибири. ЗапСибНИГНИ, Тюмень, 1986, с. 123-131.