

ПРАВИТЕЛЬСТВО ХАНТЫ-МАНСИЙСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА

КОМИТЕТ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ ПО ХМАО

КОМИТЕТ ПО НЕФТИ, ГАЗУ И МИНЕРАЛЬНЫМ РЕСУРСАМ ХМАО

НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР
РАЦИОНАЛЬНОГО НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ ХМАО

ПУТИ РЕАЛИЗАЦИИ НЕФТЕГАЗОВОГО ПОТЕНЦИАЛА ХМАО

*Третья
научно-практическая конференция*

Под редакцией

ВОЛКОВА В.А. — кандидата геолого-минералогических наук

Ханты-Мансийск
Издательство «Путиведь»
2000

ПРОГНОЗ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ В ТРЕЩИННЫХ КОЛЛЕКТОРАХ БАЖЕНОВСКОЙ И АБАЛАКСКОЙ СВИТ ВОСТОЧНО-ПАЛЪЯНОВСКОЙ ПЛОЩАДИ НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ И ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

М.Ю. ЗУБКОВ (ОАО «СибНИИИП»),
П.М. БОНДАРЕНКО (ИНУГ СО РАН),
Я.А. ТРУХАН, А.Г. ЛАЗАРЕВ
(АНК «Югранефть»)

Анализ имеющейся геолого-промысловой информации по рассматриваемому участку сейсморазведочных работ 3D Восточно-Пальяновской площади показал, что полученные из верхнеюрских отложений дебиты нефти варьируют в широких пределах — от долей до первых сотен кубических метров в сутки. Причем обращает на себя внимание тот факт, что из скважин, расположенных на небольшом расстоянии друг от друга, часто получают резко различные по дебитам притоки нефти.

В более ранних публикациях, посвященных проблеме нефтегазоносности баженовской и абалакской свит различных районов Западной Сибири, нами давалось объяснение этому феномену [4, 5]. В соответствии с изложенными в этих публикациях взглядами прогноз расположения углеводородных залежей в отложениях баженовской и абалакской свит в пределах той или иной площади связан с решением двух главных задач. Во-первых, необходимо установить наличие в составе этих свит так называемых потенциально продуктивных пластов (ППП), в которых вследствие особенностей их вещественного состава и механических свойств (карбонатные и кремнистые породы) возможно формирование вторичных (тектоногенных) трещинно-кавернозных коллекторов, а также оценить их мощность и площадь распространения. Во-вторых, следует научиться прогнозировать участки, в пределах которых под действием тектонических движений возможно формирование вторичной трещиноватости в ППП.

Первая задача решается с помощью результатов ГИС, по данным которых выделяются ППП, определяется их мощность и прогнозируется площадь их распространения.

Решение второй задачи осуществляется на основе комплексирования данных сейсморазведки и тектонофизического моделирования.

ППП, входящие в состав баженовской свиты, обозначены как продуктивный пласт ЮК₀, а те же пласты в составе абалакской свиты — как ЮК₁.

Для удобства корреляции ППП между собой отложения баженовской и абалакской свит разбиты на три примерно одинаковые по мощности пачки (около 10 м каждая), которые обозначены как ЮК₀¹, ЮК₀² и ЮК₀³, а также ЮК₁¹, ЮК₁² и ЮК₁³ (табл. 1).

Анализ имеющихся геофизических данных показал, что в отложениях баженовской свиты максимальное число ППП чаще всего встречается в нижней пач-

Количество и толщина потенциально-продуктивных пластов (ППП), входящих в состав баженовской и алабасковой свит и результаты их испытаний по данным бурения в пределах участка 3D Восточно-Пальяновской площади

№ п/п	№ скв.	ЮК ₀ ¹		ЮК ₀ ²		ЮК ₀ ³		ЮК ₁ ¹		ЮК ₁ ²		ЮК ₁ ³		Суммар. толщина ППП в ЮК ₀ ³ и ЮК ₁ ¹ , м	Суммар. толщина ППП в ЮК ₀ ³ и ЮК ₁ ² , м	Дебит, м ³ /сут
		Число ППП	Их суммарная толщина, м	Число ППП	Их суммарная толщина, м	Число ППП	Их суммарная толщина, м	Число ППП	Их суммарная толщина, м	Число ППП	Их суммарная толщина, м	Число ППП	Их суммарная толщина, м			
1	22	0	0,0	1	1,5	4	6,5	4	6,0	0	0,0	0	0,0	14,0	12,5	192,0/8
2	23	0	0,0	1	1,5	2	3,5	4	8,5	1	1,0	0	0,0	14,5	12,0	—
3	26	0	0,0	0	0,0	0	0,0	2	2,5	1	1,0	0	0,0	3,5	2,5	—
4	27	1	2,0	0	0,0	5	6,0	2	2,0	0	0,0	2	1,5	11,5	8,0	153,0/8
5	29	1	0,8	1	1,0	2	2,0	4	4,5	2	1,5	0	0,0	9,8	6,5	1,5
6	30	4	4,5	2	1,5	3	2,0	7	6,0	0	0,0	1	1,0	14,0	8,0	1,06
7	31	1	1,0	2	1,5	2	1,5	9	6,5	1	1,0	1	0,5	12,0	8,0	1,5
8	35	3	2,5	2	1,5	5	3,5	7	6,5	1	1,0	1	1,0	16,0	10,0	0,9
9	414	0	0,0	0	0,0	1	1,5	1	2,0	1	1,5	0	0,0	5,0	3,5	—
10	458	1	0,5	0	0,0	3	2,5	6	6,0	0	0,0	1	1,5	10,5	8,5	—
11	1001	1	1,0	2	2,5	1	0,5	3	4,0	1	1,5	1	1,0	10,5	4,5	52,8/10
12	12338	1	1,0	2	1,0	1	1,0	2	2,0	2	2,0	0	0,0	8,0	3,0	сл.приток
13	12364	0	0,0	3	3,0	1	0,5	2	3,0	2	1,5	1	0,5	8,5	3,5	15,0
14	12366	0	0,0	1	2,0	2	1,0	1	2,0	1	1,0	2	1,5	8,0	3,5	1,5
15	12368	0	0,0	1	1,5	1	1,5	4	3,5	1	1,0	2	2,0	9,5	5,0	30,0
16	12394	0	0,0	2	2,0	1	1,5	3	3,0	1	1,0	1	1,0	8,5	4,5	1,5

ке (до 5 слоев), а их суммарная мощность достигает 6.5 м. В верхней пачке, напротив, ППП встречаются реже всего и их суммарная мощность не превышает 2.5 м. В средней пачке встречается до 3-х ППП с суммарной толщиной 3 м (табл. 1).

Таким образом, при прочих равных условиях в баженовской свите прогнозируемая продуктивность ППП, связываемая с их суммарной мощностью, должна возрастать по направлению сверху вниз. Наиболее продуктивной в отложениях баженовской свиты должна быть самая нижняя — третья пачка ($ЮК_0^3$).

В разрезе абалакской свиты наблюдается обратное. Самой перспективной (исходя из суммарной мощности ППП как одного из главных критериев) является верхняя пачка (число слоев — до 9, а их суммарная мощность — до 8.5 м). В средней пачке абалакской свиты число ППП не превышает двух, а суммарная мощность лишь в разрезе одной скважины составила 2 м (см. табл. 1). Минимальной перспективностью по этому признаку характеризуется нижняя пачка абалакской свиты, в которой чаще всего отмечается один, реже два ППП с суммарной мощностью около 1.5 м и в одном случае — 2 м.

Таким образом, наиболее перспективными являются две пачки — нижняя, входящая в состав баженовской свиты ($ЮК_0^3$), и верхняя, представляющая собой верхнюю часть абалакской свиты ($ЮК_1^1$). Их суммарная мощность изменяется в пределах от 3 до 12.5 м, что составляет от 38% (в скв. 12338) до 89% (в скв. 22) от общей мощности ППП в обеих свитах. Кроме того, как показали результаты анализа данных ГИС, они имеют наибольшую площадную распространенность и наилучшую степень коррелируемости друг с другом.

Из полученных данных следует, что суммарная мощность ППП, входящих в состав баженовской и абалакской свит, не так мала и вполне сравнима с толщиной песчаных пластов верхнеюрского возраста, распространенных в пределах Широтного Приобья.

Выделение зон вторичной (тектоногенной) трещиноватости производилось с помощью тектонофизического моделирования, выполняемого на основе результатов сейсморазведки 3D.

Для этого в качестве базовых были выбраны два временных разреза, имеющих субширотную и субмеридиональную ориентировку. На их основе готовились модели двух типов: оптико-поляризационные и тектоноседиментационные. Рассмотрим оба типа моделей более подробно.

Метод моделирования полей напряжений и прогнозирования трещинных зон с помощью **оптико-поляризационных моделей** основан на явлении анизотропии в прозрачных аморфных телах, подвергнутых деформации. При этом изменение двойного лучепреломления в таких телах находится в прямой зависимости от величины напряжений, возникающих в деформируемом теле. Для анализа проблем экспериментальной тектоники эти методы были привлечены в работах российских (Гзовский, 1975, Осокина, 1963, Бондаренко, Лучицкий, 1985 [1—3, 7]) и зарубежных исследователей (Currie et al., 1962, Rettger R.E. 1935 [9, 10]).

Точность оптико-поляризационного (далее для краткости просто «оптического») метода исключительно велика, и поэтому он широко используется при исследовании сложных систем напряжений как в геологии, так и в технике. Расчеты полей напряжений на основе математического моделирования даже в случае простых геологических структур оказываются очень сложными и дают неоднозначные результаты. Кроме этого, рассматриваемый метод обеспечивает относительно строгое соблюдение условий подобия для упругой области деформаций и правомерность сопоставления модели с реальным объектом в тех пределах, в

каких отдельные геологические структуры на различных стадиях их развития можно считать односвязными телами, когда распределение напряжений в них не зависит от величины и физических свойств сравниваемых объектов, а достаточно строго определяется аналогией внешнего нагружения и геометрическим подобием изучаемых структурных форм (Фрохт, 1948, 1950 [8]).

В качестве эквивалентного материала при оптическом моделировании использовались 12—20% водно-глицериновые растворы желатина (упруго-хрупкие и упругие тела). Модели отливались в специальных боксах, затем помещались в нагружательную камеру, в которой они исследовались в простейших поляризационно-оптических системах с рабочим полем поляроидов от 150 до 300 мм (ПСК-250, ПСК-500).

Построение траекторий нормальных и касательных напряжений производилось на основе съемки изохром и изоклин, возникших в напряженной модели в результате двулучепреломления. Его величина, характеризующая разностью хода лучей «R», зависит от разности показателей преломления «n» и толщины модели «d»:

$$R = (n_1 - n_3)d$$

и связывается с разностью главных нормальных напряжений s_1 и s_2 следующим уравнением

$$R = B_6(s_1 - s_3)d,$$

что в итоге приводит к полному соответствию разности показателей преломления разности нормальных напряжений

$$(n_1 - n_3) = B_6(s_1 - s_3),$$

где B_6 — коэффициент оптической активности материала по напряжению.

Таким образом, изохроматические полосы отвечают равным значениям разности показателей преломления ($n_1 - n_2$) и, соответственно, равным значениям разности максимальных касательных напряжений s_1 и s_3 .

Картины изохром наглядно представляют характер распределения напряжений в модели, их относительную величину, отвечающую для касательных напряжений номеру изохроматической полосы по всему полю, а также размещение участков концентрации напряжений (по плотности полос) и положение изотропных точек и нулевых изохром, где $s_1 = s_3$, а $t_{\max} = 0$, разделяющих области сжатия и растяжения.

Преимущества оптического метода используются для выявления участков повышенных значений касательных напряжений t_{\max} и прогноза в их пределах разрывных дислокаций в направлении траекторий нормальных и касательных напряжений, построенных по картине изоклин оптического поля.

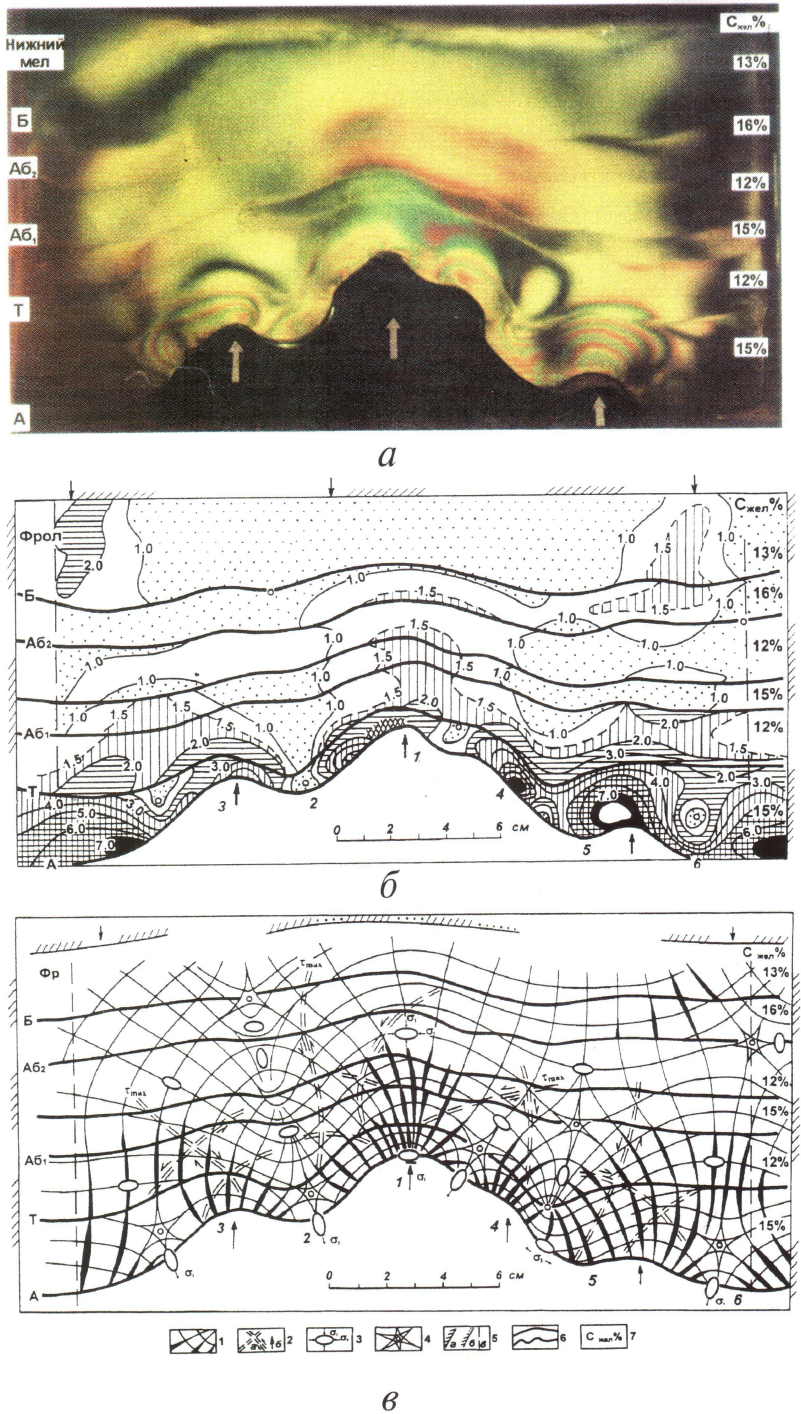
Поскольку прогноз типа разрывного нарушения — отрыва или сдвига (скола) связан с нахождением предельных значений разрушающих напряжений в моделируемых объектах, на рисунках наносились оба возможных их вида, образование которых зависит от конкретной геологической обстановки: при одностороннем сжатии прогнозируются сколы и отрывы, в зонах растяжения — отрывы, в зонах сдвигания — сколы и отрывы, что подтверждается возникновением последних во втором типе моделей (тектоноседиментационных) по прогнозируемым направлениям.

В качестве примера рассмотрим оптическую модель деформационных структур, выявленных по морфологии рельефа фундамента чехла и главных отражаю-

ших горизонтов в субширотном сейсмопрофиле L 700, пересекающим главное поднятие в пределах участка сейсморазведочных работ 3D Восточно-Пальяновской площади и представляющим собой сложное трехступенчатое поднятие с локальными седловидными впадинами и понижениями рельефа на склонах (рис. 1).

На фотоизохроматической картине наблюдается несколько зон с повышенными значениями касательных напряжений, приуроченных к сводовым и крыльевым частям поднятий (рис. 1а). При этом над седловиной между левым и центральным поднятиями уже на начальной стадии роста поднятий возникает зона переориентации обычно вертикального (литостатического) сжатия на горизонтальное (при вертикальном растяжении) от горизонта А (кровля доюрского основания) до слоев Аб (абалакская свита), а затем по мере воздымания поднятий — до кровли пласта Б (баженовская свита).

Формируется зона разуплотнения между смыкающимися по дугам траекториями сжатия, отходящими от соседних выступов. В компетентных слоях в этой зоне должны возникать раз-



Условные обозначения: 1 — траектории нормальных напряжений (s_1, s_3) и прогнозируемые разрывы по s_1 ; 2 — траектории касательных напряжений (а) и направление сколово-сдвиговых движений (б); 3 — ориентация осей напряжений; 4 — изотропные центры переориентации напряжений; 5 — жесткие (а), мягкие (б) упоры и границы доверительных данных (в); 6 — слоевые границы; 7 — концентрация желатина в модельном растворе. Цифрами указан порядок величин касательных напряжений.

Рис. 1. Фотоизохроматическая картина распределения касательных напряжений (а), уровни касательных (б) и ориентация траекторий нормальных и касательных напряжений (в) в деформируемой шестислойной оптической модели юрско-нижнеэокомского комплекса, деформируемого поднятием, подобным по контуру рельефу основания чехла по отражающему горизонту А в сейсмопрофиле L 700 Восточно-Пальяновской площади

рывно-сколовые дислокации, в пластичных (глинистых) слоях — объемное расширение, разлистование (рис. 1б, в). Такая же зона расположена над седловиной в рельефе между центральным и правым поднятиями, где происходит чередование участков сжатия и растяжения по вертикали и горизонтали (рис. 1в). Более мелкие зоны этого рода с одноразовой сменой участков сжатия и растяжения возникают над всеми понижениями в рельефе (рис. 1в).

Хотя в подобных зонах уровни касательных напряжений не достигают разрушающих величин (равностороннее сжатие, $s_1 = s_3$, а $t_{\max} = 0$), они могут представлять собой зоны отжатия флюидов как в открытые трещины вертикального растяжения в нижних слоях, так и в трещины вторичного растяжения, развитые над всеми выступами фундамента при вертикальном сжатии. Последнее обстоятельство дает дополнительное (кроме гравитационного фактора) объяснение причин локализации в сводовых частях поднятий углеводородных флюидов, а именно — в этих участках значения t_{\max} достигают критических величин, вызывающих деструкцию слоев (участки 1, 3, 4 и над поднятием между 5 и 6 участками на рис. 1в).

Выделение перспективных зон в пределах участка 3D Восточно-Пальяновской площади по результатам оптико-поляризационного моделирования производилось на основе выделения очагов напряжений в плотных, компетентных слоях, линейные размеры которых (очагов) выносились на прогнозную карту в виде изолиний, с обозначением степени напряженности в них.

Основой для структурной интерполяции между профилями явились данные ранее проведенных специальных экспериментов по моделированию полей напряжений в элементарных деформационных структурах различной формы и в различных сочетаниях, сравнимых с выявляемыми морфологическими аномалиями на сейсмических разрезах [4].

В целом применение метода оптического моделирования позволило выявить неизвестные ранее особенности развития полей напряжений в слоистых толщах чехла над подвижными блоками фундамента и способствовало исчерпывающему учету структурно-деформационного фактора при прогнозировании флюидоконтролирующих дислокаций в пределах нефтеносных верхнеюрских и нижнеэокомских объектов Восточно-Пальяновской площади.

Тектоноседиментационное моделирование (далее для краткости просто «седиментационное»), в отличие от оптического, не позволяет исследовать распределение и величину напряжений, возникающих в результате движения блоков фундамента, но дает возможность изучить механизм формирования дислокаций (трещин) и закономерностей их распределения по площади и в разрезе модели.

Прежде чем приступить к построению седиментационной модели, анализировались масштабные характеристики моделируемых объектов. С этой целью определялись размеры вариаций следующих структурных единиц: амплитуд поднятий по отражающим горизонтам «А» и «Б», латеральные размеры поднятий и расстояния между ближайшими поднятиями. Кроме того, анализировались мощности всех юрских отложений от фундамента до нижней части фроловской свиты.

По литературным и имевшимся в нашем распоряжении данным о прочностных свойствах различных литотипов готовились ингредиенты, на основе которых затем моделировались осадочные отложения юрского и мелового возрастов.

На основе проведенного анализа структурных соотношений и прочностных свойств пород юрского возраста были построены две упрощенные седиментационные модели разрезов в пределах выбранного участка Восточно-Пальяновской площади. Субширотный разрез — по сейсмопрофилю L 700 3D, а субмеридио-

нальный — по сейсмопрофилю С 100 3D.

Моделирование производилось в двух камерах с линейными размерами $50 \times 30 \times 10$ см. В нижней части камеры располагались подвижные блоки, с помощью которых моделировался рост поднятий заданной формы.

После подготовки моделей они заливались водой, и начиналось осаднение слоев в заданной последовательности. Для моделирования использовались: глины, алевроиты, пески, иногда с добавлением цемента, имитирующего карбонатизацию последних и, наконец, карбонатные и кремнистые пласты (ППП) моделировались чистым цементом. Отложения баженновской свиты имитировались глиной с высоким содержанием органического детрита.

Рассмотрим результаты седиментационного моделирования на примере модели субмеридионального сейсмопрофиля С100 (рис. 2а).

После роста 1-го (левого) небольшого по площади поднятия на 35 мм наблюдались изменения в модели (рис. 2б).

Рост поднятия вызвал формирование на поверхности модели довольно плотной системы трещин, имеющих раскрытость от 0.3—0.5 до 1—1.5 мм (рис. 2в). Трещины с максимальной раскрытостью возникли в надкупольной части поднятия.



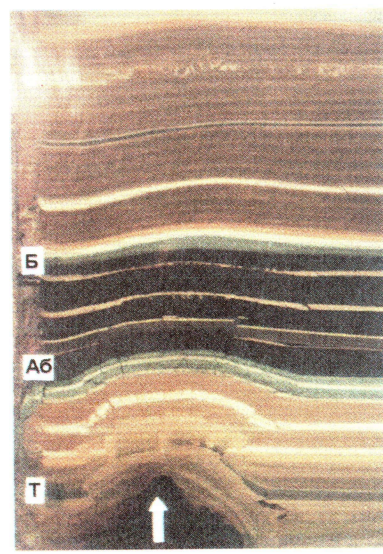
а



б

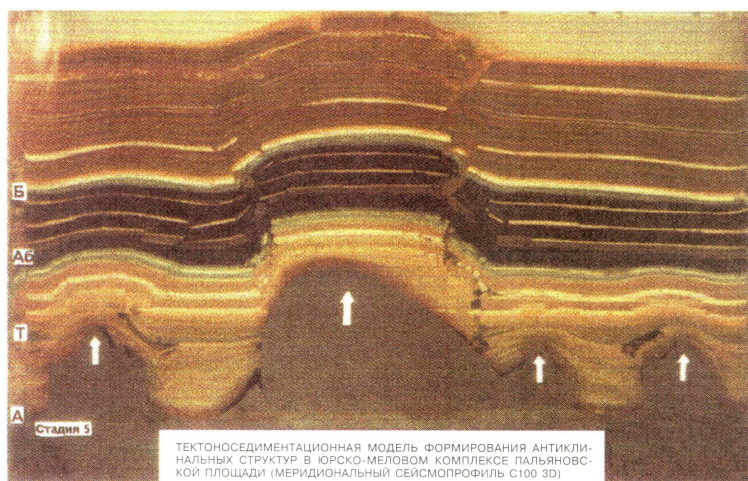


в

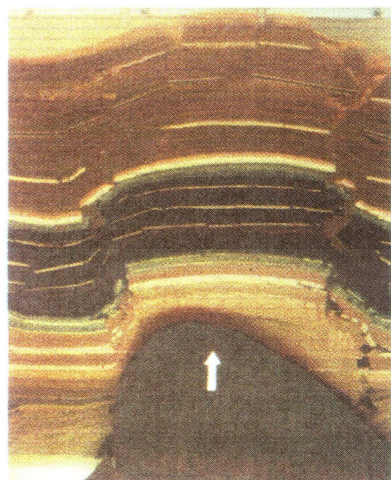


г

Рис. 2. Тектоноседиментационная модель по субмеридиональному сейсмопрофилю С 100 Восточно-Пальяновской площади до (а) и после (б) роста левого поднятия, зона трещиноватости, возникшая на поверхности модели над этим поднятием после его воздымания (в) и увеличенный фрагмент модели с левым поднятием (г).

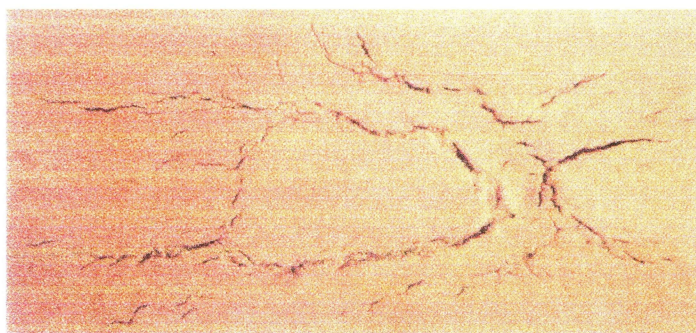


а



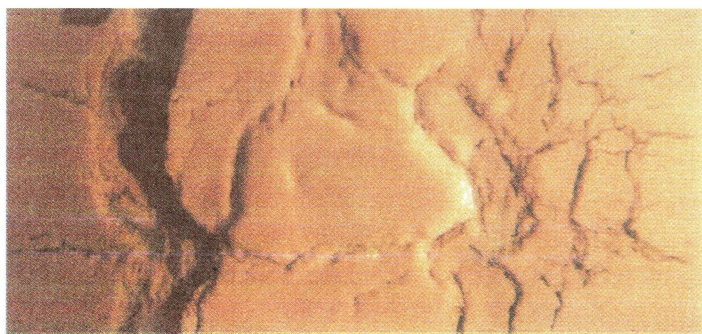
б

По мере роста поднятия сначала образовалась центральная трещина в самом нижнем толстом «сидеритовом» слое прямо над куполом поднятия. Затем выше по разрезу модели трещины стали возникать в опущенных частях крыльев поднятия (рис. 2г). Наряду с субвертикальными, возникли субгоризонтальные трещины отслоения в межблочных участках (рис. 2б, г).



в

После воздымания двух небольших поднятий, расположенных в правой части модели, начался рост главного (центрального) поднятия, амплитуда воздымания которого составила 50 мм (рис. 3а).



г

На начальной стадии роста этого поднятия на поверхности модели сформировалась зона разуплотнения со сложной системой трещин (рис. 3в). В центральной части выделяется останец, окруженный подковообразной системой трещин, сформировавших сеть микрограбенов, или зон просадки осадков. По мере роста поднятия слева и справа от останца образовались грабены (рис. 3г). Причем левый грабен более глубокий, чем правый. Он является ничем иным, как зоной разуплотнения вышедшей на поверхность модели. Эта зона объединяет сложную систему субвертикальных трещин, пронизывающих всю модель насквозь по направлению снизу вверх (рис. 3а, б).

Рис. 3. Тектоноседиментационная модель по субмеридиональному сейсмопрофилю С 100 Восточно-Пальяновской площади после роста самого высокоамплитудного (центрального) поднятия (а), увеличенный фрагмент модели с центральным поднятием (б) и система трещин, возникшая на поверхности модели над центральным поднятием в начальной (в) и конечной (г) стадиях его роста.

Следует обратить внимание на очень интенсивное дробление практически

всех «карбонатных» пластов, входящих в состав осадков, моделирующих отложения абалакской и баженовской свит, особенно на бортах поднятия (рис. 3а, б).

С целью исследования закономерностей в площадном распространении субвертикальных трещин, образующихся в компетентных пластах (имитирующих ППП), после окончания экспериментов модели рассматривались и анализировались плотность и раскрытость трещин, а также определялся радиус зоны трещиноватости над поднятиями в зависимости от их формы и амплитуды. На основе полученных данных были построены зависимости линейной плотности трещин и значений трещинной «пористости», а также величины радиуса зоны максимальной трещиноватости в зависимости от амплитуды поднятия (рис. 4а, б, соответственно).

Анализ полученных зависимостей показал, что между перечисленными параметрами существуют надежные положительные связи, причем при одинаковой величине амплитуды поднятия и линейная плотность трещин (трещинная «пористость»), и радиус зоны максимальной трещиноватости закономерно уменьшаются по направлению снизу вверх от подошвы отложений абалакской к верхней части баженовской свит (рис. 4а, б).

Вряд ли можно напрямую переносить полученные в экспериментах зависимости между толщиной компетентных слоев и расстоянием между трещинами, образующимися в них на природные объекты, поэтому были исследованы данные о трещиноватости в песчаниках и алевролитах, вскрытых в природных разрезах различных районов Карпат [6]. На основе приведенных в этой работе данных установлено, что в песчаниках и алевролитах флишевых отложений Карпат расстояние между субвертикальными трещинами (по авторской терминологии — это трещины, перпендикулярные напластованию) превышает их толщину в 1.4—1.5 раз. Мощность этих пластов изменялась от первых сантиметров до двух с лишним метров.

При более детальном рассмотрении этой зависимости оказалось, что на своде поднятий плотность трещин примерно в 3 раза выше, чем на их крыльях и, соответственно, расстояние между трещинами меньше во столько же раз. Очевидно, что для более детального сопоставления результатов тектоноседиментационного моделирования и данных полевых наблюдений необходимо учитывать амплитуды поднятий, над которыми происходит формирование зон трещиноватости, а также их морфологию.

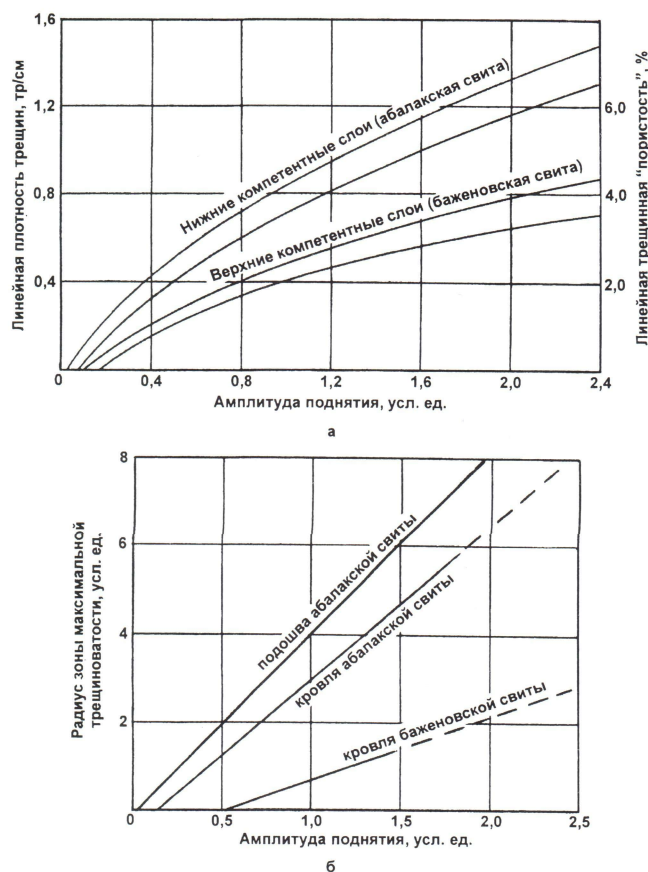


Рис. 4. Зависимость линейной плотности трещин и линейной трещинной «пористости» (а), а также размера радиуса максимальной трещиноватости (б), возникающих в компетентных пластах от величины амплитуды поднятия.

Тем не менее, отмечается явное сходство в соотношениях мощности слоя и расстояниях между трещинами в нем. В наших экспериментах расстояние между трещинами оказалось больше мощности компетентных слоев в 1.5—2.0 раза, а в природных объектах — в 1.4—1.5 раза. В маломощных слоях в приосевой части зоны разуплотнения расстояние между трещинами, наоборот, меньше их толщины в 1.5—2 раза. Так, например, в слое толщиной 20 см расстояние между трещинами вблизи оси зоны разуплотнения (деструкции) составляет всего 10—15 см [6].

Таким образом, чем тоньше компетентный слой, тем меньше расстояния между субвертикальными трещинами, образующимися в нем и, соответственно, выше линейная плотность трещин. Поэтому при бурении скважин с целью поисков вторичных коллекторов трещинного типа больше вероятность попадания в зону дробления именно в маломощных компетентных пластах, чем в пластах, имеющих большую толщину. Например, скважина, пробуренная в зоне максимального дробления и вскрывшая компетентный слой толщиной 20—30 см, обязательно пересечет хотя бы одну субвертикальную трещину.

Следует отметить, что вскрывать трещинные коллекторы описываемого типа по этой причине лучше долотами максимального диаметра или применять горизонтальное бурение. При вскрытии мощных компетентных слоев существует вероятность попадания в монолитный участок даже в пределах зоны дробления, поэтому есть смысл проводить неглубокий гидроразрыв пласта (на расстояние всего 5—10 м) в комплексе с соляно-кислотной обработкой. Действительно, поскольку толщина одного компетентного слоя в интервале залегания баженовской и абалакской свит в большинстве случаев не превышает 1.5—2 м, прогнозируемое среднее расстояние между соседними трещинами в слое такой толщины в зоне дробления будет составлять всего 2.5—3 м.

Исходя из вышеизложенного, наиболее благоприятным условием для формирования трещинных коллекторов является сочетание большого количества компетентных пластов небольшой мощности, разделенных тонкими глинистыми пропластками. Именно такая ситуация наблюдается в зоне сочленения баженовской и абалакской свит, где отмечается переслаивание многочисленных компетентных слоев небольшой толщины, разделенных маломощными глинистыми прослойками.

При разработке трещинных коллекторов возникает также вопрос о вертикальных амплитудах смещений блоков, на которые распадается компетентный пласт в результате роста поднятия. Анализ данных тектоноседиментационного моделирования показал, что величина амплитуды субвертикальных смещений вдоль образующихся трещин в виде сбросов или взбросов зависит от многих причин, главные из них — толщина компетентного слоя, его положение в разрезе и амплитуда поднятия, над которым происходит дробление. В целом выявляются следующие закономерности:

- чем тоньше компетентный слой, тем меньше величина субвертикальных смещений вдоль образующихся трещин;
- чем ниже (ближе к фундаменту) расположен компетентный слой, тем больше величина субвертикальных смещений;
- чем больше амплитуда поднятия, тем значительно больше величина смещений блоков вдоль плоскости сместителя.

Что касается абсолютных величин смещений блоков раздробленного компетентного слоя вдоль трещин, то можно отметить следующее. В верхних компетент-

ных слоях на уровне осадков, моделирующих отложения баженовской свиты, амплитуда вертикальных смещений блоков вдоль разрывных нарушений относительно друг друга не превышает 50—60% от его мощности. То есть в этих слоях гидродинамическая связь в результате смещения блоков вдоль трещин не нарушается. В нижних слоях на уровне осадков, имитирующих подошвенную часть отложений абалакской свиты, величина субвертикальных смещений в компетентных слоях над самыми высокоамплитудными поднятиями составляет 80—100% от их мощности. Поэтому в этих слоях может произойти потеря гидродинамической связи и залежь разобьется на несколько самостоятельных участков.

Таким образом, проведенный анализ величин субвертикальных смещений вдоль трещин в компетентных слоях показал, что наиболее предпочтительными для образования залежей с хорошей гидродинамической связью являются компетентные слои, имеющие небольшую мощность (до 2.5—3 м).

Важным является возможность определения степени раскрытости трещин или величины расстояния между противоположными стенками трещин, что необходимо для оценки проницаемости трещиноватых зон.

Анализ результатов проведенного тектоноседиментационного моделирования показал, что величина раскрытости трещин в компетентных слоях изменяется в широких пределах — от десятых (возможно, и сотых) долей мм до 4—6 мм. Причем наблюдаются те же закономерности, что и для величин амплитуд субвертикальных смещений вдоль тех же трещин, а именно: чем тоньше компетентный слой, тем меньше степень раскрытости трещин, образующихся в нем; чем ниже (ближе к фундаменту) расположен слой, тем больше раскрытость формирующихся в нем трещин; чем значительнее амплитуда поднятия, тем больше величина раскрытости субвертикальных трещин. Если использовать результаты экспериментов, то получается, что в нижних компетентных слоях над самыми высокоамплитудными поднятиями должны образовываться трещины, имеющие величину раскрытости сравнимую с их мощностью. Очевидно, что в природе вряд ли это возможно. Скорее всего, произойдет либо дальнейшее дробление компетентного слоя с образованием дополнительных сколов в сторону разрастающейся субвертикальной трещины, либо перекрывающие или подстилающие пластичные глинистые осадки «затекут» в образующуюся трещинную полость. Поэтому вопрос о степени раскрытости или средней ширине образующихся в компетентных слоях трещин пока остается открытым, хотя анализ данных исследования образцов керн из описываемых интервалов показывает, что ширина трещин в компетентных пластах чаще всего варьирует в пределах от десятых долей до первых миллиметров и в очень редких случаях достигает 1—2 см, как, например, в керне, поднятом из скв. 554 Салымского месторождения.

Чрезвычайно важным с практической точки зрения является также тот факт, что формирующиеся над поднятиями системы субвертикальных трещин в компетентных пластах при достаточно близком расположении поднятий по отношению друг к другу могут сливаться в единые раздробленные зоны и, следовательно, иметь гидродинамическую связь в пределах протяженных участков.

Исходя из полученных на основе экспериментов данных, при расстоянии между соседними поднятиями, равном 5—6-кратным величинам их амплитуд, высока вероятность того, что над ними сформируется единая трещинная зона. Если же поднятия расположены еще ближе, то образующиеся над ними зоны вторичных трещинных коллекторов перекроются — в результате этого сформируется высокоперспективная зона со значительной плотностью трещин на единицу

площади. Такие участки по данным сейсморазведки выделяются на многих сейсмических разрезах рассматриваемой площади.

На основе результатов, полученных с помощью обоих методов тектонофизического моделирования, построена структурно-прогнозная схема размещения трещинных коллекторов в верхнеюрских отложениях Восточно-Пальяновской площади (рис. 5).

Анализируя площадное распространение ППП на рассматриваемом участке и их мощность, можно отметить, что на большей части рассматриваемой территории они имеют достаточно большую толщину (8—10 м). Лишь в западной части Восточно-Пальяновской площади выделяется узкая субмеридиональная зона (от скв. 26 на севере до скв. 583 на юге), в пределах которой ППП имеют небольшую суммарную мощность (около 3 м). Таким образом, по этому признаку большая часть рассматриваемой площади (за исключением рассмотренного западного участка) является перспективной.

Анализ результатов тектонофизического моделирования позволил выделить три довольно узкие (шириной около 500—750 м) субмеридиональные зоны (северную, западную и восточную), а также одну небольшую по протяженности субширотную зону (центральную), в пределах которых предполагается наличие углеводородных залежей в ППП, содержащих трещинно-кавернозные коллекторы тектоногенного происхождения (рис. 5). В зависимости от прогнозируемой плотности трещин в описываемом типе коллектора и размеров зон вторичной трещиноватости выделены три их категории: высокоперспективные, перспективные и малоперспективные. В пределах первых двух категорий этих зон намечены проектные разведочные скважины первой и второй очереди.

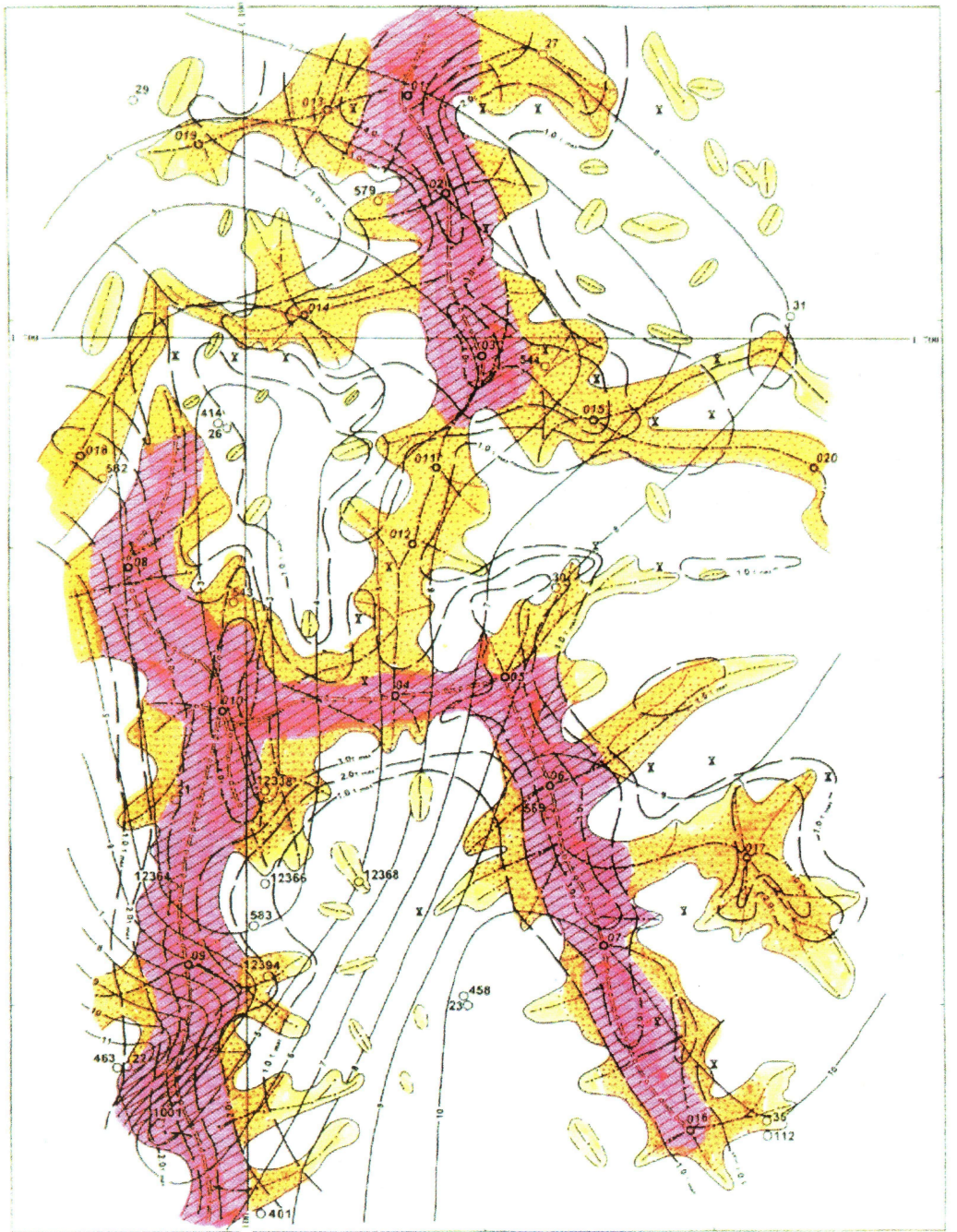
Выводы

1. Прогноз зон распространения углеводородных залежей в отложениях баженской и абалакской свит сводится к решению двух задач: во-первых, нахождению в их разрезах потенциально продуктивных пластов (ППП), оценке их мощности и площадного распространения в пределах рассматриваемой площади; во-вторых, прогнозу зон вторичной (тектоногенной) трещиноватости, возникающей в ППП, на основе использования результатов тектонофизического моделирования по данным сейсморазведки.

2. ППП широко распространены на рассматриваемой площади, они имеют довольно значительную суммарную мощность (в среднем около 8—10 м) за исключением небольшого участка, расположенного в западной части площади, в пределах которого они характеризуются малой суммарной толщиной (около 3 м) и небольшой протяженностью и, кроме того, плохо коррелируются друг с другом.

3. В пределах рассматриваемой площади на основе тектонофизического моделирования выделены три субмеридионально ориентированных участка (западный, восточный и северный) и небольшой по протяженности субширотный участок (центральный), в пределах которых предполагается наличие углеводородных залежей в трещинно-кавернозных коллекторах тектоногенного происхождения.

4. Суммарная площадь прогнозируемых залежей составляет около 15 км², а их ширина в среднем изменяется от 500 до 750 м, причем северная залежь продол-



Условные обозначения:

Оси поднятий (амплитуда, м): --- — главных (>120); --- — второстепенных (60—120); --- — малоамплитудных или внеструктурных (10—60);

Зоны деструкции и формирования вторичных коллекторов, выделенные по плотности трещиноватости в компетентных слоях алабакской (Аб) и баженовской (Б) свит в тектоно-седиментационных моделях:

--- — высокоперспективные; --- — перспективные; --- — малоперспективные;

Границы зон вероятного трещинообразования и объемного разуплотнения пород в компетентных слоях Аб и Б, выделенные по уровням касательных напряжений в поляризационно-оптических моделях:

--- — низкие до нулевых уровни; --- — средние уровни; --- — высокие уровни; --- — критические уровни;

X — зоны локальной переориентации вертикального направления литостатического сжатия на субгоризонтальное с образованием замкнутых очагов вертикального растяжения, субплоской трещиноватости хрупких и объемной дилатации пластичных пород (вероятные ловушки);

--- — изопахиты суммарной толщины потенциально продуктивных пластов (ППП), м;

Скважины: 112 --- — пробуренные; проектные; 010 --- — первоочередные; 090 --- — второй очереди.

Рис. 5. Структурно-прогностическая схема размещения трещинных коллекторов в баженовской и алабакской свитах Восточно-Пальяновской площади (по данным сейсморазведки 3D и тектонофизического моделирования).

жается в северном направлении, а западная в западном и южном направлениях. Кроме того, не исключена вероятность того, что все они имеют между собой гидродинамическую связь.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бондаренко П.М.* Проблемы и перспективы моделирования конседиментационных структур / Экспериментальная тектоника в теоретической и прикладной геологии.— М.: Наука.— 1985.— С. 50—61.
2. *Бондаренко П.М., Луцицкий И.В.* Сдвиги и зоны скалывания в тектонических полях напряжений / Экспериментальная тектоника в теоретической и прикладной геологии. М.: Наука.1985.— С.159—182.
3. *Гзовский М.В.* Основы тектонофизики. М.: Наука. 1975, 536 с.
4. *Зубков М.Ю., Скрылев С.А., Бондаренко П.М. и др.* Методы оценки перспектив нефтегазоносности баженовской и абалакской свит Западной Сибири / Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО. Ханты-Мансийск.— 1999.— С. 206—222.
5. *Зубков М.Ю., Бондаренко П.М.* Прогноз зон вторичной трещиноватости на основе данных сейсморазведки и тектонофизического моделирования / Геология нефти и газа.— 1999.— № 11—12.— С. 31—40.
6. *Копыстянский Р.С.* Трещиноватость горных пород и ее значение в нефтегазовой геологии. Киев. «Наукова думка».— 1978.— 216 с.
7. *Осокина Д.Н.* Пластичные и упругие низко модульные материалы для исследования напряжений в земной коре методом моделирования. М.: Изд-во АН СССР.— 1963.— 196 с.
8. *Фрохт М.М.* Фотоупругость. М.: Гостехиздат Т. 1. 1948, 432 с; Т. 2. 1950, 488 с.
9. *Currie J. B., et. al.* / Development of folds in sedimentary strata. Bull.Geol. Soc. Amer., 1962, vol. 73 # 6, p. 655—674.
10. *Rettger R.E.* Experiments of soft rock deformation / Bull. Amer. Ass. Petrol. Geolog., 1935, Vol. 19 # 2, p. 271—292.