

АДМИНИСТРАЦИЯ ХАНТЫ-МАНСИЙСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА

КОМИТЕТ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ ХМАО

КОМИТЕТ ПО НЕФТИ, ГАЗУ И МИНЕРАЛЬНЫМ РЕСУРСАМ ХМАО

НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР
РАЦИОНАЛЬНОГО НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ ХМАО

ПУТИ РЕАЛИЗАЦИИ НЕФТЕГАЗОВОГО ПОТЕНЦИАЛА ХМАО

*Вторая
научно-практическая конференция*

Под редакцией

ШПИЛЬМАНА В.И. — доктора геолого-минералогических наук,
ВОЛКОВА В.А. — кандидата геолого-минералогических наук

Ханты-Мансийск
1999

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПЕРСПЕКТИВ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ БАЖЕНОВСКОЙ И АЛАБАКСКОЙ СВИТ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

М.Ю. ЗУБКОВ, С.А. СКРЫЛЕВ
(ОАО «СибНИИНП»),
П.М. БОНДАРЕНКО
(ОИГГиМ СО РАН),
С.И. БАЧИН
(ОАО «ЮганскНГ»),
И.М. КОС, Н.Я. МЕДВЕДЕВ
(ОАО «СургутНГ»),
А.И. ЧУЙКО
(ОАО «Кондпетролеум»)

Снижение темпов прироста запасов и добычи углеводородного (УВ) сырья за счет открытия залежей нефти и газа в обычных гранулярных коллекторах юрского и неокомского возраста в последнее время вновь привлекло внимание геологов и нефтяников к нетрадиционным сложнопостроенным продуктивным объектам, входящим в состав баженовской и абалакской свит.

Из этих объектов на разных месторождениях Западной Сибири добыто к настоящему времени более 7 млн.т нефти, а притоки нефти из них составляют от 0.5—3 т/сут до 300—350 т/сут. Однако, несмотря на это, до сих пор отсутствует ясное представление о типе, механизме образования и фильтрационно-емкостных свойствах коллекторов этих отложений, а также о закономерностях их размещения.

Первоначально считалось, что продуктивной в рассматриваемом интервале верхнеюрских отложений является только баженовская свита, и существовали две основные точки зрения относительно механизма формирования в ней коллекторов.

Согласно первой, предложенной Ф.Г. Гуарари в середине 70-х годов, наиболее широко принятой в то время и развитой многими позднее, образование коллекторов в баженовской свите происходило в результате процессов нефтегенерации, вызывавших природный автофлюидоразрыв и формирование листовых коллекторов [3, 4, 6, 7, 10, 11, 16, 18, 20].

В соответствии со второй точкой зрения углеводородные залежи в баженовской свите связывались с трещиноватыми зонами, обусловленными как тектоническими движениями, так и неравномерностью уплотнения осадков и микросейсмическими толчками [14, 15, 21].

Так как исследователи, отстаивавшие вторую точку зрения, не предложили конкретных способов выделения перспективных участков в отложениях баженовской свиты, то рассмотрим более подробно набор критериев, предложенных учеными, развивавшими первую точку зрения.

В целом большинство этих исследователей используют близкий набор критериев для оценки региональных перспектив нефтеносности отложений свиты: содержание ОВ в породах свиты не менее 6—8%, пластовые температуры (Тпл) не



Условные обозначения: 1 — граница палеозойского обрамления; 2 — граница распространения базеновской свиты; 3 — изопахиты флюидоупоров, подстилающих и перекрывающих базеновскую свиту и толщины свиты, м; 4 — изоомы, Омм; 5 — изолинии вторичной пористости (V_{Bt}), %; 6 — изолинии коэффициента эмиграции (K_e); 7 — изолинии относительной доли плотных слоев в составе свиты; 8 — площади, на которых в составе свиты плотные слои отсутствуют; участки различных категорий перспективности: 9 — первой, 10 — второй, 11 — третьей, 12 — четвертой, 13 — бесперспективные, 14 — расположение скважин, в которых проводилось испытание отложений базеновской свиты.

Рис. 1. Схема региональных перспектив нефтегазоносности базеновской свиты (з) и критерии, использованных для ее оценки: мощности флюидоупоров, подстилающих (а) и перекрывающих (б) свиту, ее толщина (в), кажущиеся сопротивления (г), величина вторичной пористости (д), коэффициент эмиграции битумоидов из свиты (е), относительная доля в ее составе кремнистых и карбонатных слоев (ж), по [6].

ниже 95–100°C, мощность отложений свиты не менее 20–25 м, величины кажущегося электрического сопротивления (КС) не менее 150–200 Омм, мощность подстилающего и перекрывающего флюидоупора не менее 6–10 м.

Близость выбранных параметров и их значений объясняется тем, что, во-первых, во всех перечисленных работах в качестве отправных данных использованы одни и те же результаты испытаний битуминозных отложений, на основе которых и приняты граничные значения этих параметров, во-вторых, применялись одни и те же данные стандартного комплекса геофизических исследований скважин (ГИС).

Основным фактором, обуславливающим образование нефтяных залежей в свите в соответствии с принятой моделью, считается процесс нефтегенерации, сопровождающийся автонефтеразрывом, в результате которого и возникает коллектор [3, 4, 6, 7, 10, 11, 16, 18, 20]. Таким образом, чем больше исходной органики, выше пластовая температура, тем больше вероятность возникновения коллектора, а мощные флюидоупоры должны препятствовать рассеиванию УВ и исчезновению залежей.

Анализ зависимости величины коэффициента эмиграции (КЭ) от мощности флюидоупора, проведенный нами, показал, что КЭ резко уменьшается при увеличении мощности глинистой покрышки от 0 до 5 м. Битуминологические исследования, выполненные другими авторами, показали, что состав битумоидов, распределенных в глинистой толще, сильно меняется на расстоянии 4–6 м [13, 18]. На основании данных ГИС удалось надежно зафиксировать зоны распространения аномально-высоких пластовых (поровых) давлений (АВПД), которые, как правило, исчезают на расстоянии 8–10 м от проницаемого горизонта. На основании этих данных критическую мощность флюидоупора можно принять равной 5–6 м.

Глинистый экран, отделяющий свиту от васюганских песчаников снизу, изменяет свою толщину довольно закономерно: происходит его постепенное утолщение в западном направлении вплоть до полной глинизации пласта Ю₁ (рис. 1а). Изопахита глинистого флюидоупора, равная 20 м, примерно соответствует границе распространения васюганских песчаников. В восточной и особенно юго-восточной частях Западно-Сибирской плиты толщина верхнеюрского глинистого экрана незначительна — обычно 2–3 м, реже — 4–6 м, а на ряде площадей составляет 0–1 м. Участки, где битуминозные отложения непосредственно залегают на васюганских песчаниках, являются «литологическими окнами», через которые битумоиды, образовавшиеся в баженовской свите, беспрепятственно выжимаются в пласт Ю₁. Самый крупный такой участок расположен в юго-восточной части Западно-Сибирской плиты и охватывает площадь примерно в 30 тыс.км², другой находится в районе Широтного Приобья (площадью около 14 тыс.км²). Ряд небольших участков (площадью 100–150 км²) располагается в пределах Нижневартовского и Сургутского сводов, а также к северу от них. Как правило, небольшие литологические окна расположены на локальных поднятиях в пределах структур второго порядка.

Таким образом, в центральной и юго-восточной частях плиты отложения баженовской свиты слабо изолированы от верхневасюганских песчаников, а потому битумоиды, образовавшиеся в них, практически беспрепятственно отжимались в пласт Ю₁, образуя большое количество богатых промышленных залежей. По этой причине на большей части восточной половины плиты отложения свиты бесперспективны.

Сверху свита изолирована гораздо надежнее, чем снизу. В среднем мощность перекрывающей глинистой покрышки, как правило, превышает 20 м, а в западной части плиты происходит полная глинизация ачимовской толщи, как и верхневасюганских песчаников (рис. 1б). Однако в отличие от верхнеюрской зона глинизации ачимовских коллекторов проходит несколько западнее — по западному склону Сургутского свода, западной части Юганской впадины и центральной части Ханты-Мансийской мегавпадины. Утонение ачимовского глинистого экрана до 3—5 м, в отличие от верхневасюганского, наблюдается нечасто и на небольших площадях.

Непосредственное залегание ачимовских песчаников на баженовской свите также отмечается редко и площади таких участков, как правило, не превышают 100—150 км².

Обычно сокращение глинистого экрана связано с размывом подачимовских глин или внедрением в баженовскую свиту ачимовских песчано-алевритовых суспензионных потоков, образующих так называемые «аномальные разрезы».

Таким образом, несмотря на довольно хорошую в целом изоляцию свиты от перекрывающих проницаемых горизонтов, имеется ряд участков, бесперспективных по этому признаку (рис. 1б).

Из общих соображений понятно, что чем больше мощность свиты, тем выше при прочих равных условиях ее перспективность. Используя метод аналогий, минимальную мощность баженовской свиты можно принять равной 15 м, как на Саймовской площади, на которой получены слабые притоки из 13-метровой баженовской толщи. По этому признаку большая часть свиты является перспективной, за исключением ряда небольших участков, располагающихся в пределах локальных поднятий на Сургутском и Нижневартовском сводах, а также на ряде площадей в центральной, южной и юго-восточной частях плиты (рис. 1в).

Величина минимального значения КС определяется большинством исследователей по аналогии с участками, на которых нефтеносность свиты доказана. Анализ результатов испытаний показал, что подавляющее большинство притоков нефти из свиты ограничено изоомой 250 Омм. Однако встречаются и более низкие значения КС (Мултановская площадь — около 125 Омм, Баклянская — 100 Омм). Поэтому формально к перспективным можно отнести площади с КС более 100-125 Омм (рис. 1г).

Считается, что повышенные значения КС баженовской свиты связаны с ее высокой нефтенасыщенностью [3, 4, 6, 7, 8—11], большим содержанием ОВ, выпадением асфальтосмолистых компонентов [13], повышенной концентрацией кремнезема [13, 16, 18, 20], низким содержанием воды [3, 4, 6—11]. Сравнение схем изменения содержания ОВ, битумоидов, Тпл и значений КС в битуминозных отложениях показало, что наиболее тесная связь наблюдается между КС и концентрацией битумоидов в отложениях баженовской свиты: изолинии содержания битумоидов 0.8—1.0% повторяют изоомы 80—100 Омм, районы с повышенной концентрацией битумоидов (до 2.0—2.5%) совпадают с участками самых высоких значений КС (более 500 Омм).

По величине КС можно осуществить дифференциацию территории распространения свиты на участки различной вероятной продуктивности, используя для этого результаты испытаний. На площадях с КС, изменяющимися в пределах 125—200 Омм, расположены низкопродуктивные скважины. В интервале значе-

ний КС от 200 до 300 Омм расположены площади, на которых отмечаются незначительные притоки из свиты. Для интервала КС от 300 до 500 Омм характерны площади со средней величиной дебитов, а на площадях со значениями КС выше 500 Омм отмечаются максимальные притоки нефти (рис. 1г).

Ранее в работах [8, 9] нами было показано, что наряду с нефтеразрывом большое значение имеет формирование вторичной емкости за счет преобразования исходного ОВ (ОВисх) в битумоиды и неуглеводородные летучие. Зависимость имеет следующий вид:

$$V_{bt} = 27 \cdot OB_{isch}[0.6 - \exp(-0.0328 \cdot T_{pl} + 1.64)]0.17 \cdot OB_{isch} + 10,$$

где V_{bt} — величина вторичной пористости в %, T_{pl} — пластовая температура.

Расчеты производятся с условием, что максимальная степень превращения OB_{isch} в битумоиды и неуглеводородные летучие равна 0.6, т.е. 60% от веса OB_{isch} может превратиться в процессе нефтегенерации в УВ, воду, углекислый газ и т.п., а 40% от его веса будет представлено инертным графитизированным остатком.

Таким образом, два обычно используемых параметра — содержание ОВ и T_{pl} объединяются в один комплексный параметр — величину вторичной пористости, граничные значения которой можно обосновать более строго, чем первых двух параметров, тем более, что сами по себе, взятые в отдельности друг от друга, содержание ОВ и T_{pl} не дают представления о количестве образовавшихся битумоидов и, следовательно, о величине нефтеразрывов и размерах возникающих залежей. Поэтому в настоящей работе в качестве критерия использована именно величина вторичной пористости, а не T_{pl} и OB_{isch} (рис. 1д). Из рисунка видно, что все известные на сегодняшний день нефтепроявления в баженовской свите расположены на площади, оконтуренной изолинией V_{bt} более 10%, а на площади со значениями V_{bt} выше 20% находятся наиболее высокодебитные скважины (рис. 1д).

Однако возникающая таким образом V_{bt} в большей степени теряется из-за уплотнения битуминозных отложений. Используя полученные в работах [8, 9] связи между пластовой температурой и степенью превращения ОВ, легко установить количество образовавшихся в свите битумоидов, а зная их современное содержание по данным битуминологических исследований, можно определить количество эмигрировавших битумоидов и рассчитать коэффициент их эмиграции (K_e). По величине K_e (рис. 1е) можно приблизительно оценить степень сохранности не только образовавшихся битумоидов, но и возникшей в результате их генерации V_{bt} . Площади со значениями K_e 0.8 и более отнесены к бесперспективным — на них баженовская свита является не столько нефтеемещающей, сколько нефтегенерирующей, и сохранность V_{bt} минимальна (рис. 1 д, е).

Степень сохранности V_{bt} зависит от прочностных свойств пород свиты. Анализ зависимости открытой пористости от вещественного состава пород баженовской свиты показал, что наибольшие ее значения отмечаются в кремнистых и известковистых разностях (до 10–12%), напротив, в глинистых типах пород ее величина редко достигает 5–6%. Таким образом, чем больше в разрезе свиты прочных кремнистых и карбонатных разностей, тем выше вероятность сохранения V_{bt} и значительнее перспективы битуминозных отложений.

На основании данных ГИС выделены плотные пропластки в отложениях баженовской свиты и составлена схема изменения их относительного содержания от ее общей мощности (рис. 1ж). Из полученной схемы видно, что максимальная

концентрация карбонатных и кремнистых пропластков отмечается в центральной и западной частях плиты. По направлению к северу и бортам плиты свита полностью глинизируется.

Следовательно, площади, на которых баженовская свита представлена только глинистыми разностями с той или иной примесью алевритового материала, можно отнести к бесперспективным (рис. 1ж). Территории, на которых рассматриваемый параметр имеет значения 0.1 и выше, отнесены к перспективным. Максимальные его значения отмечаются в Салымском районе (до 0.3—0.4) и прилегающих территориях, а также Красноленинском районе (0.2—0.25). Иными словами, на этих площадях около 20—40% от мощности баженовской свиты представлено прочными карбонатными или кремнистыми пропластками, число которых достигает 5—7. Чаще всего встречается 1—3 пропластка, причем обычно они присутствуют в подошвенной части свиты на границе с отложениями абалакской или георгиевской свит.

На основании выбранных семи критериев составлена схема региональных перспектив отложений баженовской свиты (рис. 1з). Выделены территории четырех категорий перспективности. Дифференцирование проведено по результатам испытаний скважин с максимальными дебитами, поэтому даже на площадях высоких категорий могут встретиться и сухие, и менее дебитные скважины, чем можно было ожидать.

Территория первой категории выделялась по совпадению максимальных значений всех выбранных критериев, она в общих чертах совпадает с площадью распространения месторождения Большой Салым.

Земли второй и более низких категорий определялись по снижению значений любого из параметров. Они, как правило окружают земли первой категории и протягиваются в субмеридиональном направлении, захватывая часть Юганского и Сургутского районов. Отмечаются локальные участки и в других частях плиты, например, в Красноленинском районе, однако они имеют небольшие размеры.

Примеры выделения трещиноватых зон в отложениях баженовской свиты по материалам сейсморазведки (максимальные затухания, слабая прослеживаемость отражающих границ, понижение сейсмических скоростей и повышение степени поглощения энергии сейсмических волн) изложены в ряде публикаций [17, 19]. Однако эти работы носили локальный характер, в них обычно анализировались единичные сейсмопрофили, полученные в пределах Салымского месторождения.

По мере накопления геолого-промышленных данных (прежде всего по Салымскому и Красноленинскому месторождениям) выяснилось, что продуктивными являются отложения не только баженовской, но и абалакской свит. Впервые это было надежно доказано на основе результатов высокоточной термометрии, проведенной на ряде продуктивных скважин эксплуатационного участка Салымского месторождения [5].

На высокую перспективность нефтегазоносности отложений абалакской свиты указывалось в работах [1, 2]. Действительно, результаты раздельного испытания различных объектов в разрезе, вскрытом, например, скв. 554 Салымского месторождения в интервале залегания баженовской и абалакской свит, показали, что притоки с максимальным дебитом (350 т/сут) получены из карбонатного пласта мощностью около 2.5 м, расположенного в кровельной части абалакской сви-

ты. В отложениях баженовской свиты также были зафиксированы два интервала, из которых были получены низкодебитные (3–5 т/сут) притоки. Анализ данных высокоточной термометрии, проведенной в этой же скважине, подтвердил полученные ранее результаты поинтервального опробования.

Таким образом, к концу 80-х годов было однозначно доказано, что в верхне-юрском разрезе продуктивными являются отложения как баженовской, так и абалакской свит, причем коллекторы имеют вторичное происхождение и развиваются главным образом по двум основным литологическим разновидностям — кремнистым и карбонатным (рис. 2), что объясняется их достаточно высокой прочностью, но в то же самое время хрупкостью, поэтому они легко дробятся при воздействии на них тектонических нагрузок [1, 2, 6, 12]. Следует, однако, отметить, что вторичные коллекторы, образующиеся в кремнистых литотипах, имеют гораздо более низкие фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС), чем в карбонатных, что объясняется главным образом значительно меньшей растворимостью кремнезема в кислых гидротермальных растворах по сравнению с карбонатными минералами. Поэтому в кремнистых породах формируются вторичные коллекторы трещинного, а в карбонатных — трещинно-кавернозного типов (рис. 2). Действительно, если раскрытость трещин в кремнистых породах редко достигает 0.2–0.3 мм, то в карбонатных слоях она может составлять 1–2 см.

Битуминозные отложения существенно глинистого состава с микротрещинами автонефтеразрыва могут выполнять роль матрицы и обеспечивать подпитку основных фильтрующих каналов, не внося при этом какого-либо существенного вклада в обеспечение фильтрации [6].

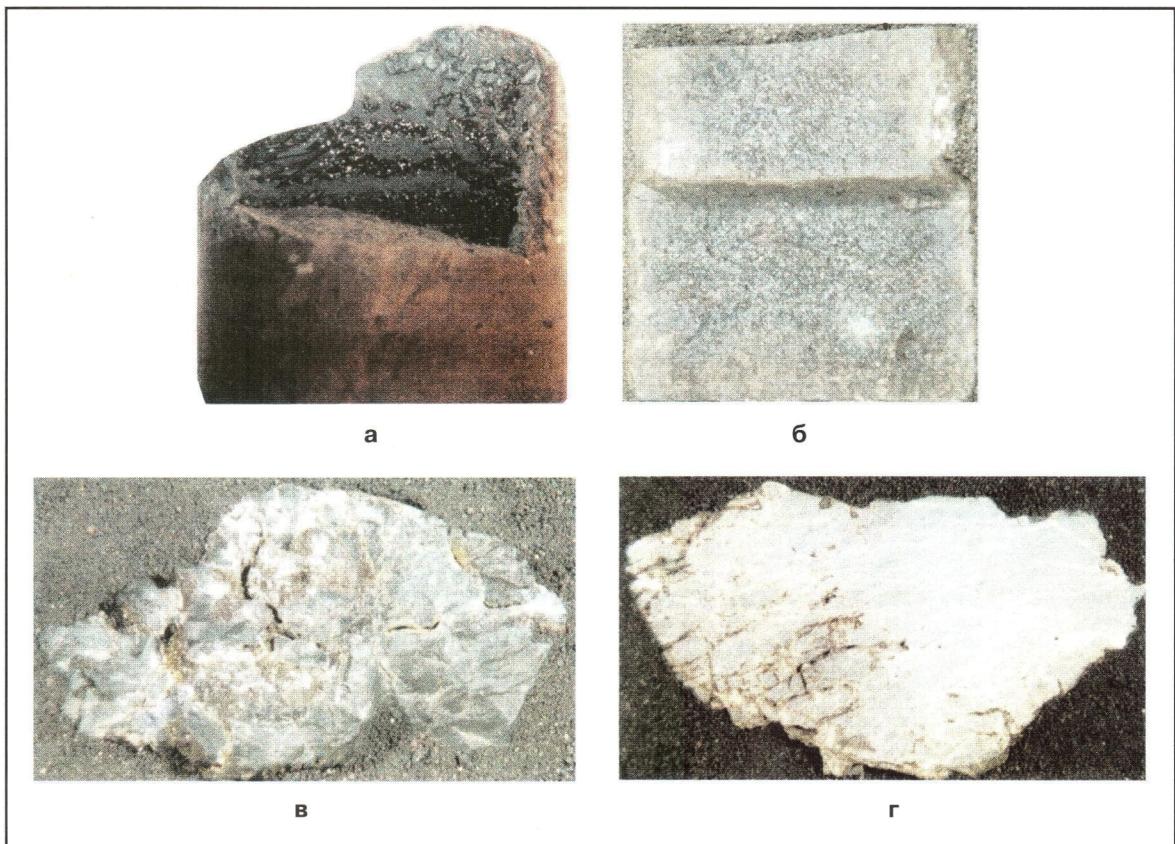
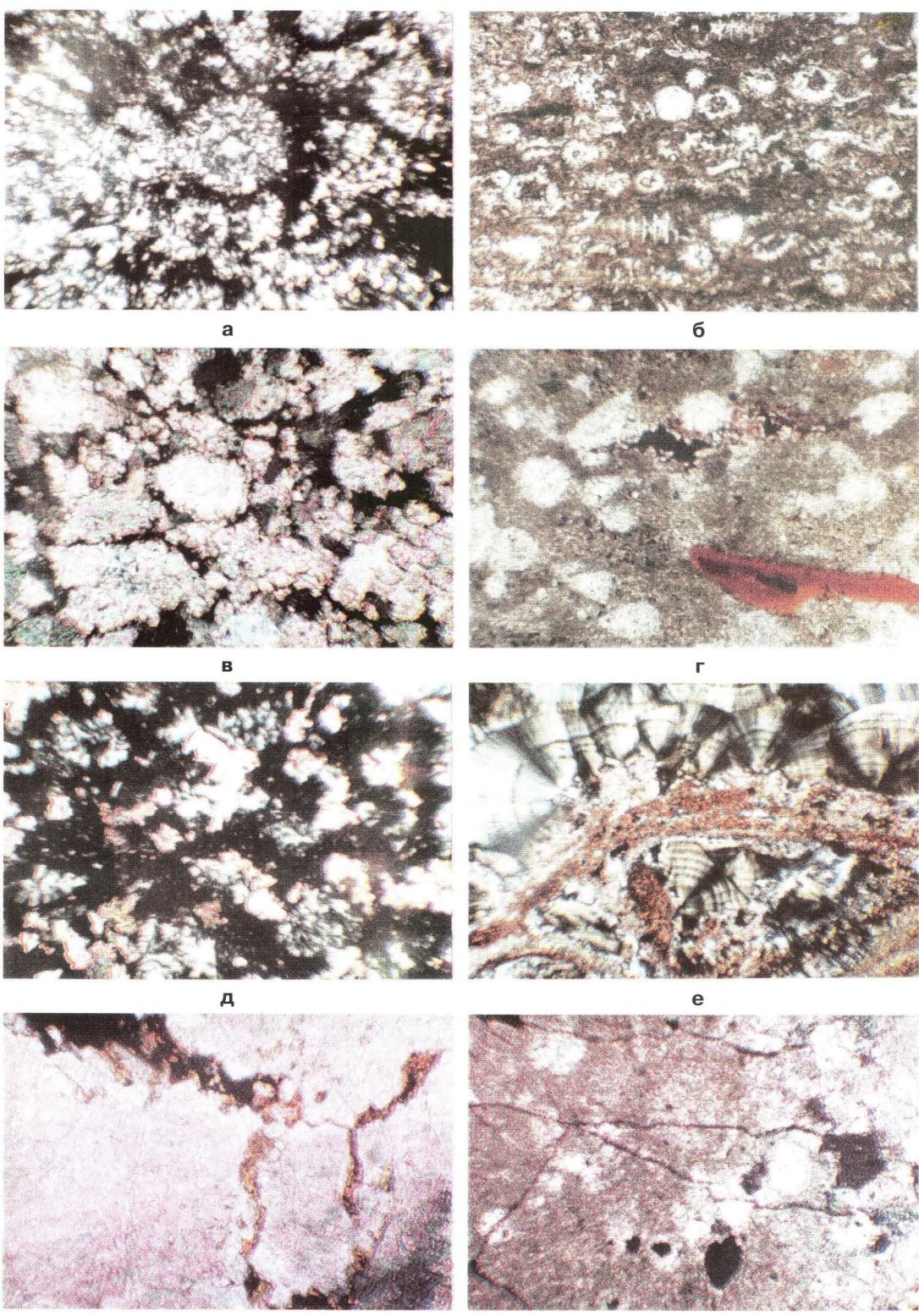
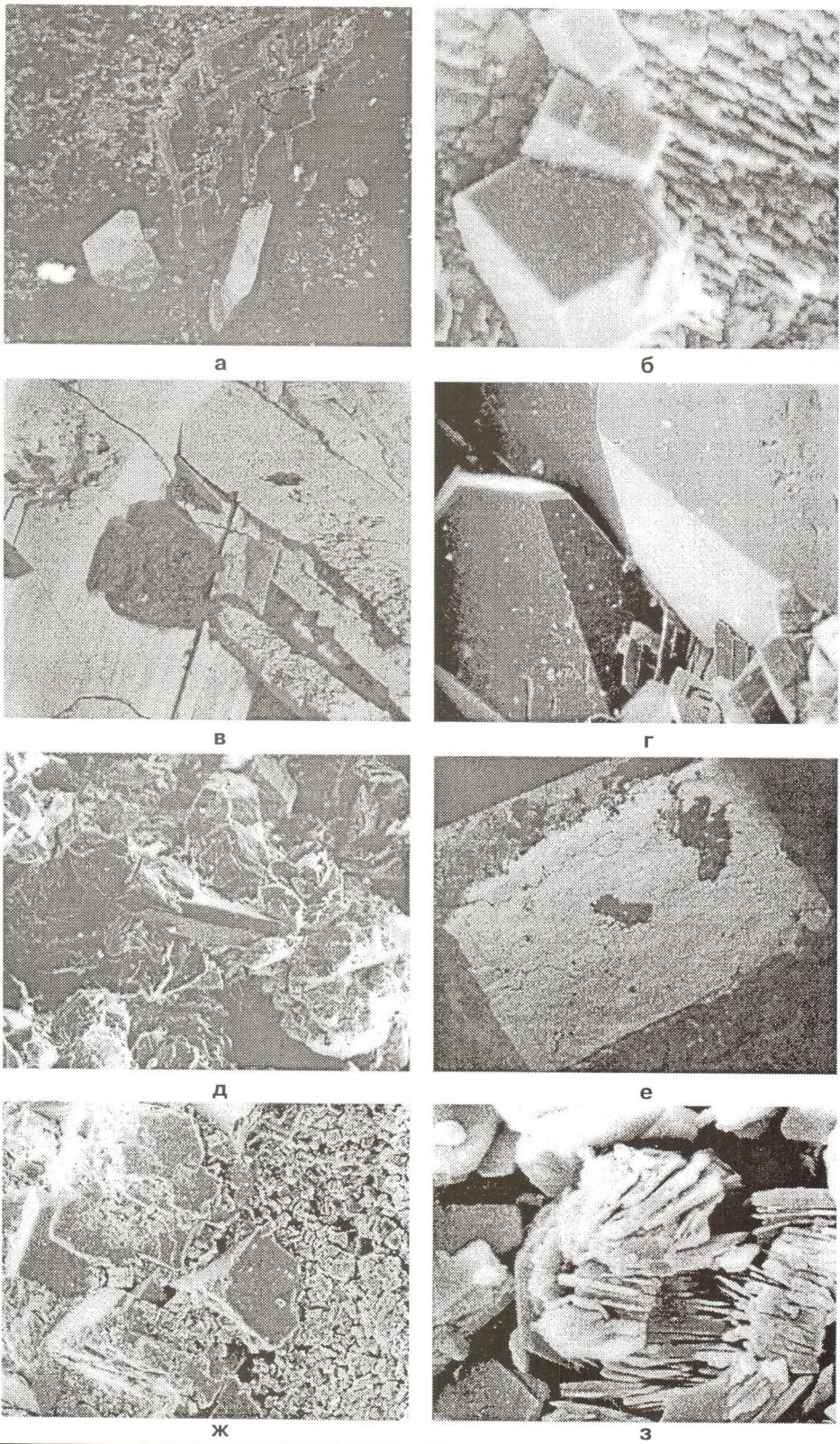


Рис. 2. Образцы пород-коллекторов, отобранных из баженовской (а, б) и абалакской (в, г) свит (натуральная величина)



Условные обозначения: а, б — радиоляриты (силициты), баженовская свита; в, г — радиоляриты, замещенные кальцитом и доломитом, отмечаются микрокаверны, заполненные битумоидом, баженовская и абалакская свиты, соответственно; д — радиолярит (силицит), частично замещенный кальцитом, баженовская свита; е — эпигенетические халцедоновые сферолиты, образовавшиеся в трещинах и кавернах тектонического происхождения и имеющие концентрически-зональное строение за счет послойной концентрации микрокапель нефти, захваченных ими в процессе роста, абалакская свита; ж, з — трещины и микрокаверны в известняках, заполненные битумоидом, абалакская свита. Увеличение: снимки в проходящем свете — в 70 раз, в поляризованном — в 130 раз.

Рис. 3. Фотографии петрографических шлифов пород-коллекторов, отобранных из отложений баженовской и абалакской свит Маслиховского месторождения (а—е) и Ем-Еговской площади (ж—з), в проходящем (б, г) и поляризованном (а, в, г, д—з) свете



Условные обозначения: а — кристаллы апатита (светлое), увеличено в 170 раз; б — кристаллы апатита на кальцитовой подложке, увеличено в 1400 раз; в — друзья баритокальцита (светлое), увеличено в 150 раз; г — кристаллы кварца (крупные) и магнезиального кальцита (мелкие), увеличено в 40 раз; д — агрегат барита (справа внизу), кварц (удлиненный кристалл в центре) и магнезиально-железистый кальцит (остальное), увеличено в 70 раз; е — кристалл цельзиана (бариевый полевой шпат), увеличено в 30 раз; ж — высокоупорядоченный каолинит с примесью диккита (справа) и кристаллы кальцита (слева), увеличено в 180 раз; з — кристаллы каолинита и диккита, увеличено в 2350 раз.

Рис. 4. Эпигенетические минералы гидротермального происхождения, образовавшиеся на поверхности трещин и каверн в породах-коллекторах, входящих в состав базеновской и абалакской свит Маслиховского месторождения (а, г, е—з) и Ем-Еговской площади (б, д).

Микроскопические исследования показали, что кремнистые литотипы, или силициты (Теодорович, 1935) представляют собой чаще всего радиоляриты (рис. 3 а, б), а карбонатные — могут образовываться как по радиоляритам путем замещения кремнезема кальцитом и/или доломитом (рис. 3 в, г), так и вследствие хемогенного осаждения микрокристалликов тех же карбонатных минералов (рис. 3 ж, з). Следует обратить внимание на тот факт, что, если в силициатах, при исследовании их в прозрачных петрографических шлифах, микротрешины и микрокаверны практически не встречаются, то в карбонатных литотипах часто отмечаются и трещинки, и каверны, заполненные битумоидами (на рис. 3 фотографии а, б, с, в, г, ж и з). Встречаются также и переходные разновидности, например, известковистые силициты, в которых наряду с радиоляриями, имеющими кремнистый состав, присутствуют мелкие кристаллы кальцита и доломита (рис. 3д). В известняках, наоборот, отмечаются мелкие трещины, заполненные микросферолитами халцедона, имеющими ритмично-зональное строение за счет мелких включений капелек битумоидов, захваченных ими в процессе роста (рис. 3е).

На поверхности трещин и микрокаверн отмечаются разнообразные новообразованные минералы, в том числе и довольно редкие, например, апатит (рис. 4 а, б), баритокальцит (рис. 4в), барит (рис. 4д), бариевый полевой шпат или цельзиан (рис. 4е), а также диккит (рис. 4з). Встречаются также и достаточно обычные эпигенетические минералы, такие как пирит (рис. 4а), различные разновидности карбонатных минералов (рис. 4 а—д, ж), кварц (рис. 4 г, д) и каолинит (рис. 4 ж, з). Судя по описанному выше комплексу новообразованных минералов, встреченных в верхнеюрских отложениях, можно сделать вывод о том, что они образовались из средне-высокотемпературных гидротермальных флюидов, имевших первоначальную температуру до 350—400°С.

Выявленные два основных литологических типа пород (кремнистые и карбонатные), по которым возможно образование вторичных коллекторов, достаточно надежно выделяются комплексом ядерно-физических, электрических и акустических методов ГИС. Прослои, сложенные этими литотипами, характеризуются пониженными значениями J_γ , Δt_{AK} и повышенными величинами J_n , p_k , sp на фоне вмещающих глинистых отложений. Толщина отдельных работающих прослоев обычно не превышает 1.5—2.0 м и в сумме составляет, как правило, не более 4—5 м, изредка достигая 8—10 м.

Дальнейшими работами [1, 2, 6, 12] было доказано, что в отложениях баженовской и абалакской свит трещинные и трещинно-кавернозные коллекторы возникают под действием тектонических движений, сопровождающихся влиянием гидротермальных флюидов, выщелачивающих неустойчивые компоненты и отлагающих новые минеральные ассоциации, о которых говорилось выше.

Таким образом, проблема локального прогноза нефтегазоносности верхнеюрских отложений сводится к решению двух задач: во-первых, выделению в разрезе потенциально продуктивных пластов (ППП) кремнистого и карбонатного состава, а также построению карты их площадного распространения и, во-вторых, установлению зон тектонического дробления. Первая задача решается путем выделения ППП по данным ГИС. Для решения второй — предложены два оригинальных метода выделения перспективных трещиноватых участков. Первый способ, предложенный С.А. Скрылевым, А.И. Чуйко и К.М. Мулявиным, осуществля-

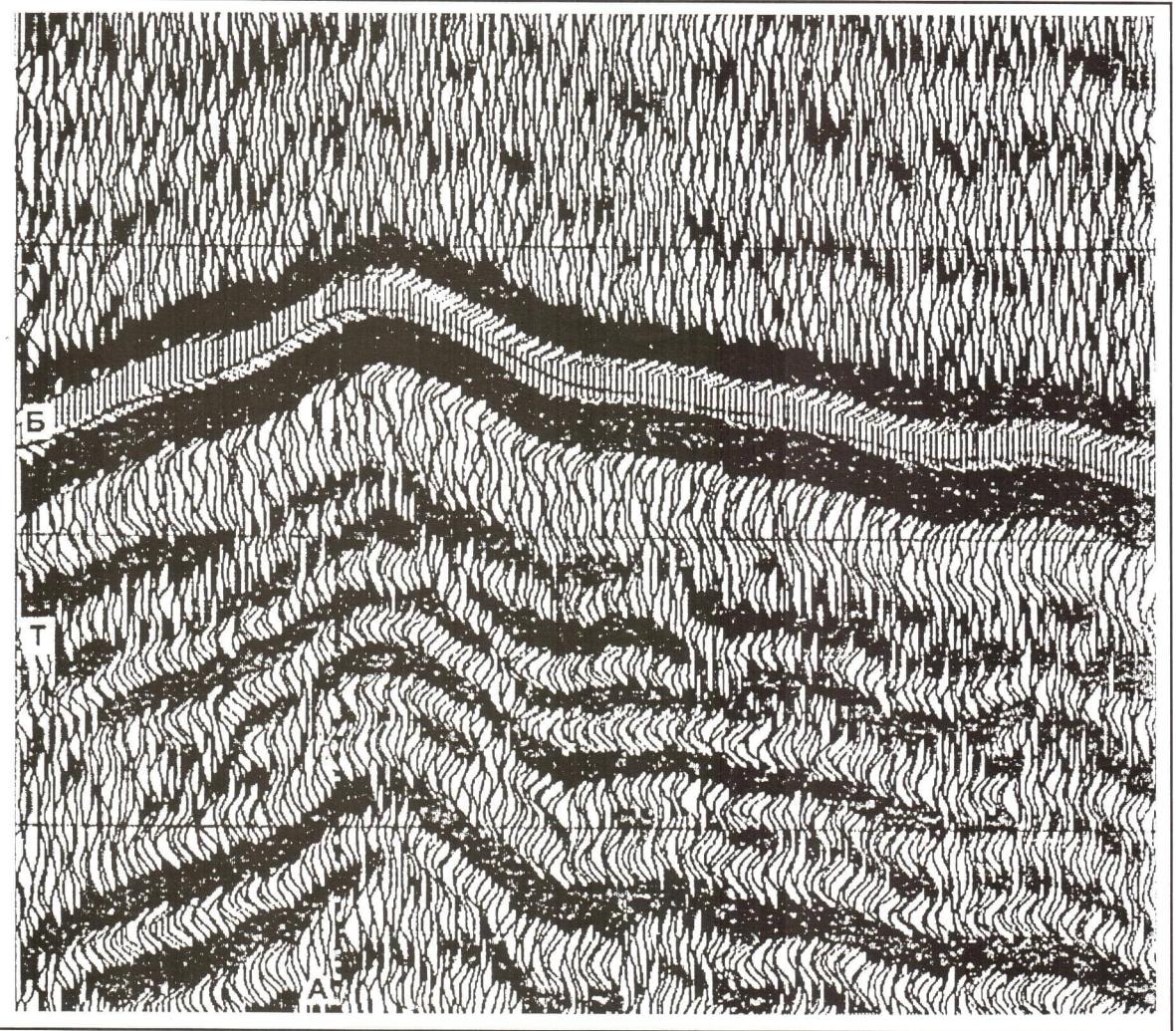


Рис. 5. Фрагмент сейсмовременного разреза 52—52 (участок 3D) Маслиховского месторождения, послужившего основой для тектонофизического моделирования

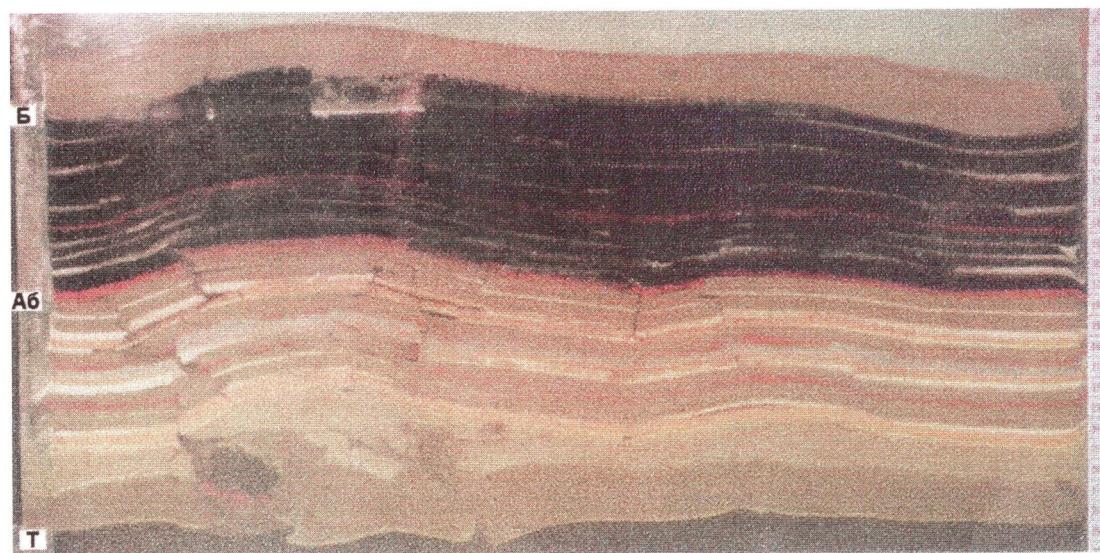
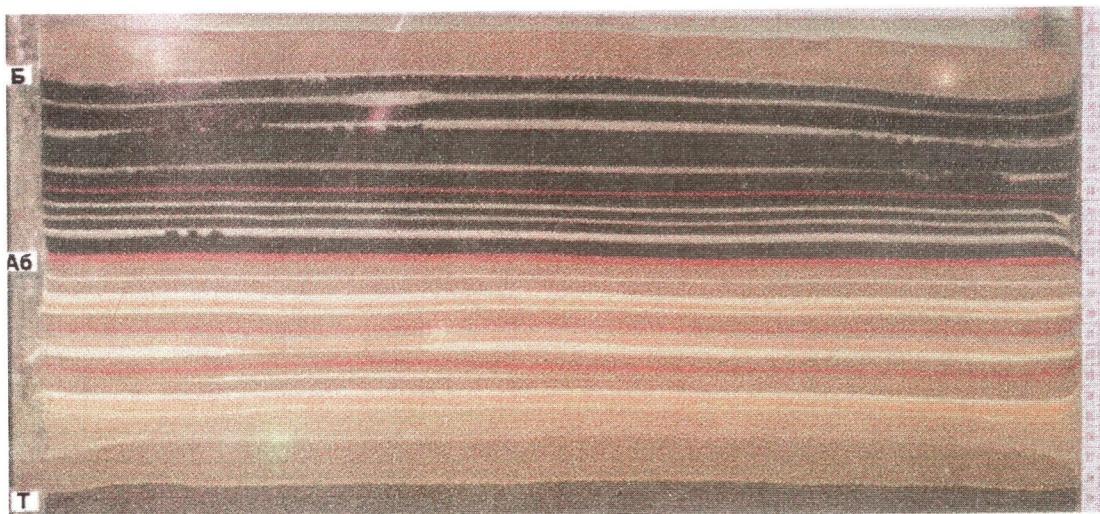
ляется путем математической обработки структурных карт по кровле абалакской свиты, построенных по данным сейморазведки, и выделении на них участков с максимальной кривизной поверхности как наиболее ослабленных в тектоническом отношении. Второй способ выделения зон тектонической трещиноватости разработан М.Ю. Зубковым и П.М. Бондаренко [12]. Он основан на комплексировании данных сейморазведки и тектонофизического моделирования.

Рассмотрим суть последнего метода — выделения перспективных зон в отложениях баженовской и абалакской свит в пределах локальных участков на примере Маслиховского месторождения.

Моделирование осуществлялось двумя способами (оптико-поляризационным и тектоносedиментационным) на основе результатов сейморазведочных работ (3D). В качестве базового для построения моделей использовался сейсмовременной разрез 52—52 (рис. 5).

Тектоноседиментационный способ позволяет исследовать закономерности образования трещинных дислокаций в компетентных слоях, имитирующих ППП кремнистого и карбонатного состава.

Модели приготавливались в боксе, заполненном водой, путем послойного осаждения природных материалов (песка, алеврита, глины и т. п.). Компетентные



Компетентные слои, имитирующие осадки кремнистого и карбонатного состава, имеют белый и красный цвет.

Рис. 6. Тектоноседиментационная модель по сейсмовременному разрезу 52–52
Маслиховского месторождения до (а) и после (б) роста поднятий

слои, имитирующие ППП кремнистого и карбонатного состава, моделировались цементом различных марок белого и красного цвета (рис. 6а).

В основание бокса помещались надувные баллоны, которые после их накачки воздухом становились подобными морфологии кровельной части фундамента, взятого с базового сейсмопрофиля (рис. 5).

После окончания процесса осаждения осадков, в соответствии с проведенной на основе сейсмоданных палеотектонической реконструкцией, моделировался рост поднятий (рис. 6б). Затем путем послойной разборки модели анализировались закономерности в распределении трещин, возникших в каждом из компетентных слоев, входивших в ее состав (рис. 7). Исследовалась плотность трещин в компетентных слоях в зависимости от их положения в разрезе и амплитуды поднятия, а также оценивалась величина трещинной «пористости» (рис. 8).

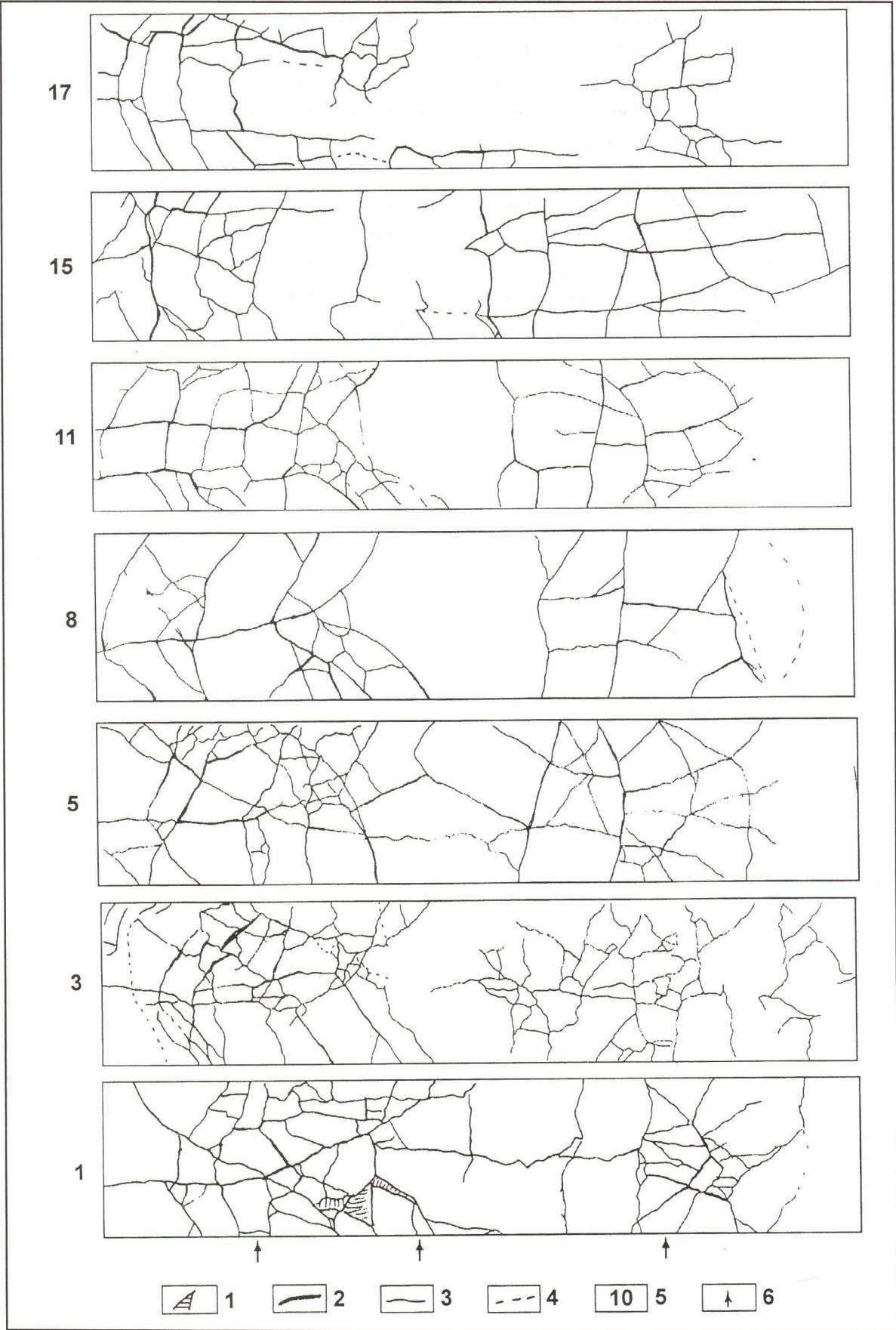


Рис. 7. Распределение трещинных дислокаций в компетентных слоях седиментационной модели по сейсмовременному разрезу 52—52 Маслиховского месторождения (по направлению снизу вверх), образовавшихся над поднятиями в процессе их роста.

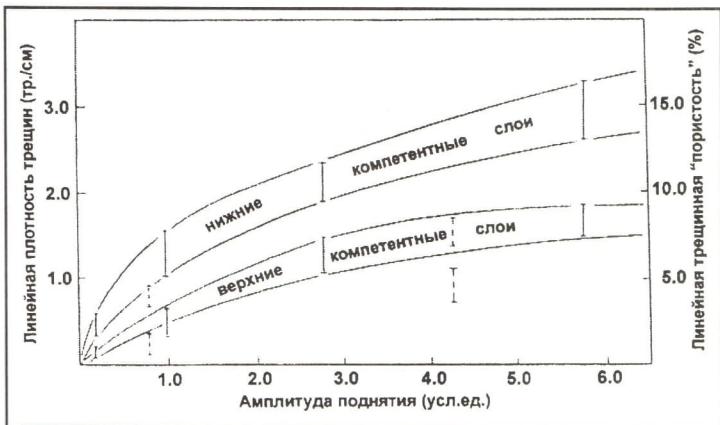


Рис. 8. Зависимость линейной плотности трещин и линейной трещинной «пористости», возникшей в компетентных слоях вследствие роста поднятий, от их амплитуды.

Результаты тектоноседиментационного моделирования свидетельствуют о том, что максимальная плотность трещин в компетентных слоях наблюдается вблизи куполов поднятий, причем чем больше их амплитуда, тем выше, при прочих равных условиях, плотность трещин. Кроме того, чем ближе компетентный слой залегает к вершине поднятия, тем также выше плотность трещин и значительнее их раскрытие (рис. 7).

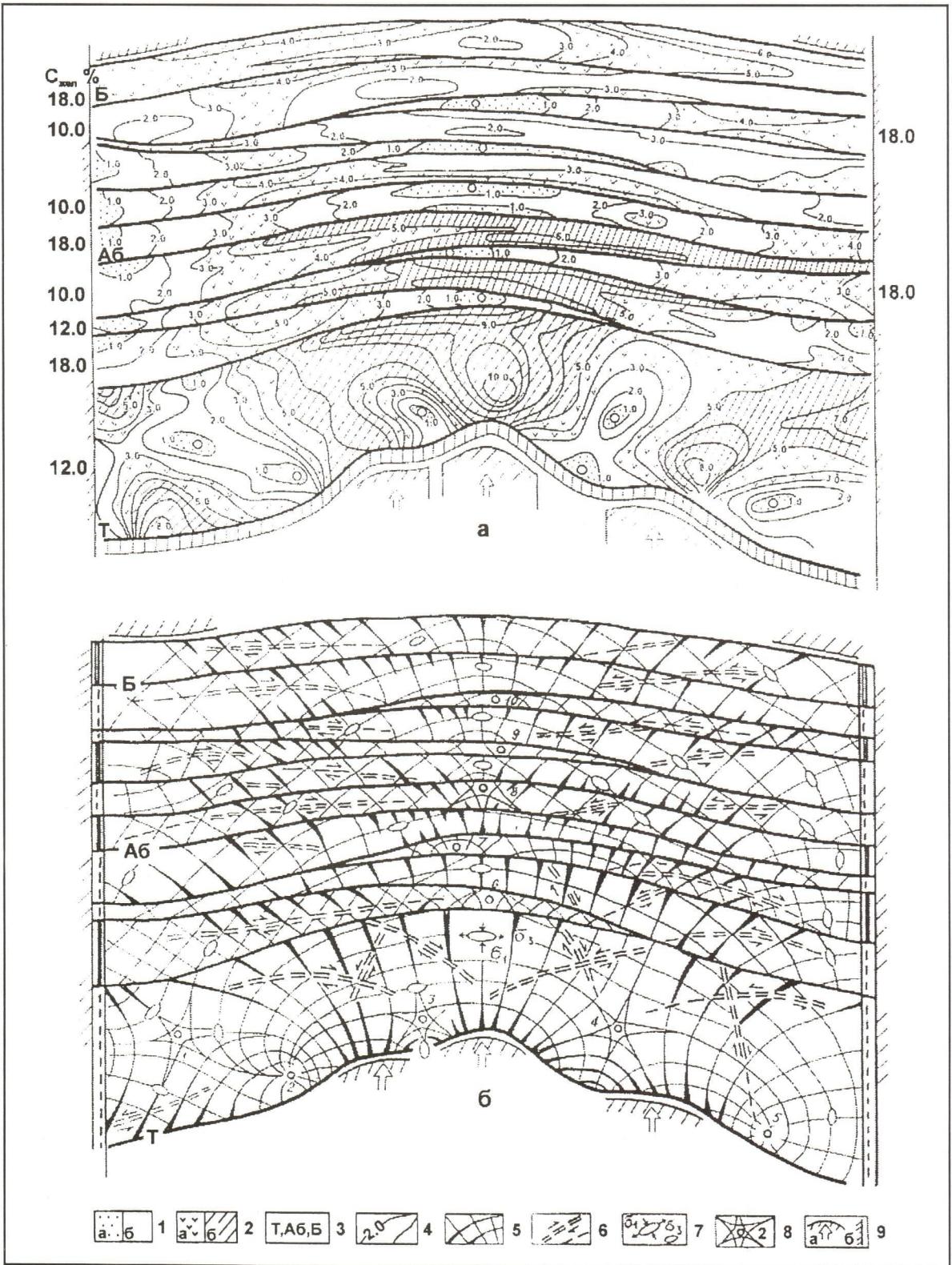
Полученные экспериментальные данные использовались затем при интерпретации имеющихся сейсмовременных разрезов с целью прогноза распространения зон вторичной трещиноватости тектонического происхождения в отложениях баженовской и абалакской свит.

Оптико-поляризационные модели, изготовленные из желатиновых слоев с различной плотностью на основе того же сейсмопрофиля, позволили изучить закономерности изменения величин касательных напряжений (рис. 9а), а также спрогнозировать плотность и ориентировку трещин отрыва и скола (рис. 9б).

Анализ полученных результатов показал, что максимальные величины касательных напряжений в нижнем слое отмечаются над вершинами антиклинальных поднятий (до 10 усл. ед.) в его подошве (рис. 9а). Вторая зона повышенных касательных напряжений в этом же слое отмечается в его кровельной части над самым высокоамплитудным поднятием. Между поднятиями, наоборот, отмечаются зоны пониженных касательных напряжений с изотропными точками в их центре, обусловленные всесторонним сжатием, распространяющимся от соседних растущих блоков (рис. 9а).

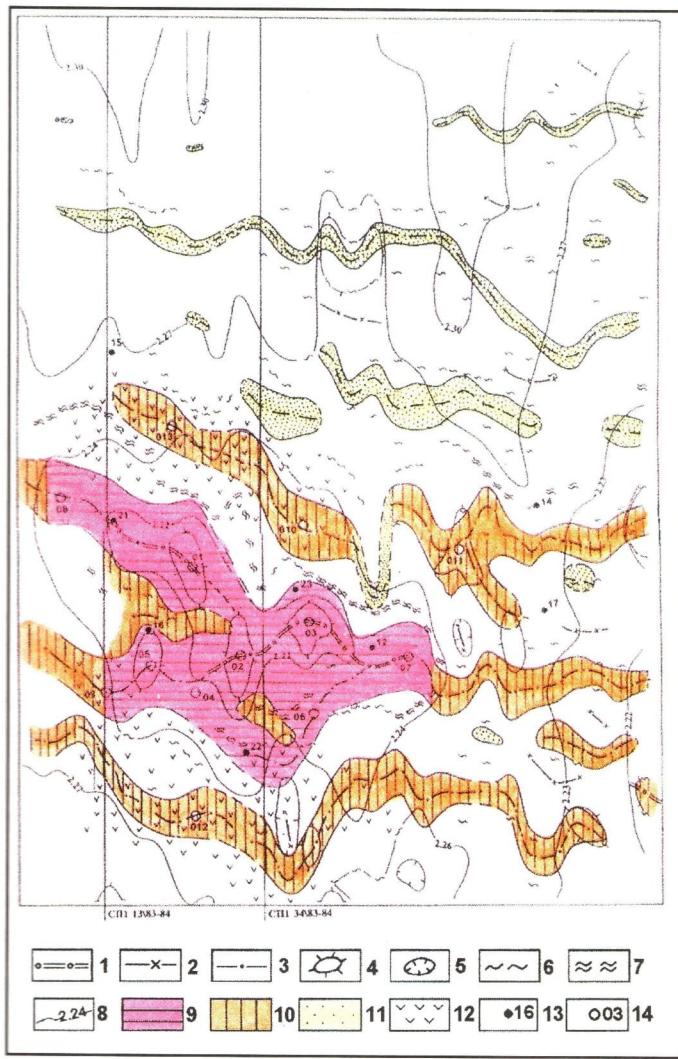
В зонах повышенных значений касательных напряжений прогнозируются трещины отрыва, ориентированные преимущественно субвертикально (рис. 9б). Лишь в самой подошве слоя в участках, расположенных между поднятиями (в локальных прогибах), прогнозируются трещины отрыва с субгоризонтальной ориентировкой. Зоны всестороннего сжатия с низкими и нулевыми значениями касательных напряжений, напротив, являются бесперспективными — в них невозможно образование трещин (рис. 9б). Следовательно, и результаты оптико-поляризационного моделирования свидетельствуют о том, что наиболее перспективными, с точки зрения формирования тектонической трещиноватости в компетентных слоях, являются участки, приуроченные к апикальным частям поднятий (рис. 6б и 9б).

На основе полученных в результате тектоноседиментационного и оптико-поляризационного методов моделирования данных, использованных затем при интерпретации сейсмовременных разрезов, построена структурно-прогнозная схема размещения перспективных зон в отложениях баженовской и абалакской свит Маслиховского месторождения (рис. 10). На ней выделены три зоны тектонической трещиноватости различной перспективности — от высокоперспективных с наибольшей площа-



Условные обозначения: 1 — зоны низких, нулевых (а) и средних (б) касательных напряжений; 2 — зоны повышенных (а) и высоких (б) касательных напряжений, благоприятных для образования трещиноватости; 3 — обозначения слоев, отвечающих кровле тюменской (Т), абалакской (Аб) и баженовской (Б) свит; 4 — изохромы (τ_{\max}) и их значение по порядку цвета; 5 — траектории нормальных напряжений; 6 — траектории касательных скальвающих напряжений и прогнозируемые сдвиги в местах повышенных значений τ_{\max} ; 7 — направление траектории сжатия (σ_1) и растяжения (σ_3); 8 — точки переориентации направлений сжатия и растяжения и их номера в модели (изотропные точки в которых $\sigma_1 = \sigma_3$ и $\tau_{\max} = 0$); 9 — жесткие подвижные (а) и неподвижные (б) штампы и ограничения.

Рис. 9. Распределение величин касательных напряжений (а) и прогноз трещинных дислокаций (б) в многослойной разнотолстостной оптической модели по сейсмовременному разрезу 52—52 Маслиховского месторождения.



Условные обозначения: 1 — оси господствующих поднятий; 2 — оси прогибов; 3 — оси второстепенных (малоамплитудных и внеструктурных) поднятий; 4 — локальные поднятия; 5 — локальные впадины; 6 — малоамплитудные флексуры и их зоны; 7 — крупноамплитудные флексуры и их зоны; 8 — изохроны отражающего горизонта Б, мс; зоны деструкции и трещинного коллекторообразования: 9 — высокоперспективные; 10 — перспективные; 11 — малоперспективные; 12 — зоны повышенных касательных напряжений; скважины: 13 — пробуренные; 14 — проектные.

Рис. 10. Структурно-прогнозная схема размещения перспективных зон в отложениях баженовской и абалакской свит Маслиховского месторождения.

различных типов пород, входящих в состав баженовской и абалакской свит, показал, что вторичные коллекторы образуются в двух основных типах пород — кремнистых и карбонатных.

3. В кремнистых породах формируются вторичные коллекторы трещинного, а в карбонатных — трещинно-кавернозного типа.

4. Исследование новообразованных минеральных ассоциаций, которые возникли на стенках трещин и каверн во вторичных коллекторах, свидетельствует о том, что в их формировании принимали участие средне- и высокотемпературные гидротермальные флюиды.

5. Образование вторичных коллекторов (трещинного и трещинно-кавернозного типов) в баженовской и абалакской свитах происходило под действием тектонических

дю распространения и плотностью трещин, а также, соответственно, высокими удельными запасами углеводородов, до малоперспективных, имеющих небольшие площади, низкую плотность трещин и, соответственно, малые удельные запасы (рис. 10). В высокоперспективных и перспективных зонах намечены места для первоочередного бурения разведочно-эксплуатационных скважин.

Выводы

1. Несмотря на отсутствие ясного представления о механизме формирования и типах вторичных коллекторов, возникающих в отложениях баженовской свиты, построенные в середине 80-х годов различными исследователями карты-схемы для оценки региональных перспектив нефтегазоносности баженовской свиты, могут быть использованы для последующего проявления локального прогноза на основе новых комплексных методов математического и тектонофизического моделирования.

2. Анализ промыслового-геофизических исследований, а также результатов изучения литолого-петрофизических свойств баженовской и абалакской свит, показал,

напряжений, вызывавшихся вертикальными перемещениями блоков фундамента, приводивших к дроблению прочных, но хрупких кремнистых и карбонатных пластов.

6. Локальный прогноз перспектив нефтегазоносности баженовской и абалакской свит осуществляется на основе комплексирования данных о мощности и площади распространения кремнистых и карбонатных пластов, получивших название потенциально продуктивных пластов (ППП), а также результатов тектонофизического моделирования, выполненного с использованием данных сейсморазведки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белкин В.И., Медведский Р.И., Аббасов И.А. Жильный тип ловушек углеводородов.— М.: ВНИИОЭНГ.— 1988.— 50 с.
2. Белкин В.И., Ефремов Е.П., Каптелинин Н.Д. Модель коллекторов нефти баженовской свиты Салымского месторождения./ Нефтяное хозяйство. 1983.— № 10.— С. 27—31.
3. Гуарари Ф.Г., Гуарари И.Ф. Формирование залежей нефти в аргиллитах баженовской свиты Западной Сибири./ Геология нефти и газа.— 1974.— № 5.— С. 36—40.
4. Гуарари Ф.Г. Региональный прогноз промышленных скоплений углеводородов в доманикатах./ Геология нефти и газа.— 1984.— № 2.— С. 1—5.
5. Добрынин В.М., Позин Л.З., Зубарев Б.Н. Использование высокоточной термометрии для выявления перетоков нефти в баженовской свите. // Строение и нефтегазоносность баженитов Западной Сибири./ Тр. ЗапСибНИГНИ.— Вып. 194.— Тюмень.— 1985.— С. 139—148.
6. Ефремов Е.П., Зубков М.Ю., Боркун Ф.Я. и др. Методика оценки перспектив нефтегазоносности баженовских отложений Западной Сибири.// Энергия и механизм первичной миграции углеводородов. М.: Наука.— 1988.— С. 152—161.
7. Зарипов О.Г., Сонич В.П., Зубков М.Ю. Региональная перспективность отложений баженовской свиты Западной Сибири.// Исследования в области геологии и разработки нефтяных месторождений Западной Сибири./ Тр. СибНИИНП.— Вып. 19.— Тюмень.— 1982.— С. 132—144.
8. Зубков М.Ю., Ершов В.А., Прямоносова И.А. и др. Генерация битумоидов и формирование емкостного пространства в отложениях баженовской свиты.// Научно-технический прогресс при поисках и освоении нефтяных и газовых месторождений Западной Сибири./ Тр. ЗапСибНИГНИ.— Вып. 63.— Тюмень.— 1984.— С. 16—21.
9. Зубков М.Ю., Ершов В.А., Шакирова А.Х. и др. Особенности состава и генерации битумоидов в отложениях баженовской свиты.// Строение и нефтегазоносность баженитов Западной Сибири. / Тр. ЗапСибНИГНИ.— Вып. 194.— Тюмень.— 1985.— С. 123—131.
10. Зубков М.Ю., Сонич В.П., Зарипов О.Г. Геологические и литолого-geoхимические критерии промышленной нефтеносности отложений баженовской свиты Западной Сибири.// Проблемы нефтеносности баженовской свиты Западной Сибири.— Сб. ИГИРГИ.— М.— 1986.— С. 5—14.
11. Зубков М.Ю. Критерии оценки региональных перспектив нефтеносности баженовской свиты. / Нефтяное хозяйство. 1989.— № 5.— С. 26—30.
12. Зубков М.Ю., Бондаренко П.М. Прогноз зон повышенной продуктивности на основе комплексирования данных сейсморазведки и тектонофизического моделирования.// Основные направления научно-исследовательских работ в нефтяной промышленности Западной Сибири.— Тюмень.— СибНИИНП.— 1997.— С. 15—34.
13. Коллекторы нефти баженовской свиты Западной Сибири. Под ред. Т.В. Дорофеевой.— Л.: Недра.— 1983.— 132 с.
14. Мелик-Пашаев В.С., Степанов А.И., Терещенко Ю.А. О природе аномально-высоких пластовых давлений в юрских отложениях Салымского месторождения. / Геология нефти и газа.— 1979.— № 7.— С. 25—28.
15. Микуленко К.И. Перспективы нефтегазоносности отложений баженовской свиты центральных и южных районов Западно-Сибирской плиты. / Тр. СНИИГГиМС.— Вып. 194.— Новосибирск.— 1974.— С. 37—41.
16. Нестеров И.И. Новый тип коллектора нефти и газа. / Геология нефти и газа.— 1979.— № 10.— С. 26—29.
17. Сейсмологический анализ нефтеносности отложений Западной Сибири. О.М. Мкртчян, Л.Л. Трусов, Н.М. Белкин и др.— М.: Недра.— 1987.
18. Скоробогатов В.А., Краснов С.Г. Некоторые критерии перспектив нефтеносности баженовской свиты Западной Сибири. / Геология нефти и газа.— 1984.— № 3.— С. 15—19.
19. Трапезникова Н.А., Рудницкая Д.Н. О сейсмологической модели баженовской свиты в связи с ее нефтеносностью. / Геология нефти и газа.— 1985.— № 12.— С. 11—18.
20. Ушатинский И.Н. Литология и перспективы нефтеносности юрско-неокомских битуминозных отложений Западной Сибири. / Советская геология.— 1981.— № 2.— С. 11—22.
21. Халимов Э.М., Мелик-Пашаев В.С. О поисках промышленных скоплений нефти в баженовской свите. / Геология нефти и газа.— 1980.— № 6.— С. 1—10.