

# ГЕНЕЗИС БИТУМОВ В ЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

М.Ю. Зубков (ООО «ЗапСибГЦ»)

Битумы в пределах Западно-Сибирского бассейна (ЗСБ) встречаются в породах, имеющих широкий возрастной диапазон – от кровельной части доюрского комплекса до неокомских отложений [9-15]. Однако детально их изучением занимались мало, хотя отложения баженовской свиты, имеющей широкое площадное распространение на территории бассейна, первоначально назывались битуминозными. Возникает вопрос о происхождении битумов в ЗСБ, включая юрские отложения и в частности баженовскую свиту (БС), если она всё же действительно является битуминозной.

Следует обратить внимание на тот факт, что в настоящее время БС перестали именовать битуминозной, а обозначение «битуминозный» постепенно заменилось на «керогеновый» [2, 5, 8, 9, 18, 21]. Поэтому, прежде чем перейти к рассмотрению вопроса о генезисе битумов в ЗСБ, попробуем разобраться в терминологии, используемой геологами и нефтяниками, а именно, что понимается под терминами «кероген» и «битум».

Крум-Браун (Crum-Brown), предложивший этот термин в 1912 году, подразумевал под ним, в противовес термину «уголь», органическое вещество (ОВ) не терригенного, а морского происхождения, то есть преимущественно сапропелевого состава, и обозначал ОВ горючих сланцев. Таким образом, этот термин первоначально обладал генетическим смыслом, как и противопоставляемый ему термин уголь. Однако впоследствии он утратил первоначальный генетический смысл и приобрел аналитическое содержание, а именно «органическое вещество, нерастворимое в органических растворителях». Следуя этой логике, ОВ состоит из двух слагающих его компонентов – битумоида (его растворимая в органических растворителях часть) и керогена – то есть того, что остается после выделения из исходного ОВ битумоидов. Но тогда кероген, подобно битумоиду (который также имеет аналитический, а не генетический смысл), должен подразделяться на хлороформенный, бензольный, спиртобензольный и т.п., так как каждый тип растворителя растворяет определённые компоненты нафтидов, оставляя в составе «керогена» все остальные. Можно согласится с составителями геологического словаря, которые считают, что термин «кероген», потеряв генетический смысл и превратившись в нечётко определённое аналитическое понятие, является излишним и лишь вносит путаницу в геологическую терминологию [7]. Действительно, тогда и ОВ, входящее в состав угля, также состоит из керогена и битумоидов. Однако по отношению к углем этот термин не используется. Более того, тогда все органические вещества, устойчивые по отношению к органическим растворителям, вне зависимости от их происхождения, следует относить к керогену и в этом случае керогеном будут являться кериты (частично), антраксолиты, шунгиты, сильно метаморфизованные битумы и т.п.

При этом все эти разновидности седикахитов (по Н.Б. Вассоевичу) теряют своё генетическое содержание. По этой причине в настоящей публикации термин «кероген» не используется.

Термин «битум» имеет несколько значений, поэтому стоит конкретизировать, какой именно смысл вкладывается в него в настоящей публикации. Под этим термином будем понимать эпигенетический продукт нафтидного и/или нафтоидного ряда, образующийся из исходного ОВ вследствие его катагенетического (термического) превращения, причём растворимость в органических растворителях не является его обязательным признаком [7]. То есть в отличие от термина «битумоид», имеющего чисто аналитический смысл, термин «битум» обладает генетическим содержанием. В отличие от нефти он характеризуется значительной вязкостью из-за высокого содержания в нём гетеросоединений и высокомолекулярных углеводородов (УВ), а метаморфизованные (подвергшиеся интенсивному термическому воздействию) его разновидности имеют твёрдую и даже твёрдохрупкую консистенцию [10-14].

Проблема генезиса битумов в юрских отложениях тесно связана с происхождением нафтидов вообще во всем ЗСБ. Обычно для этого привлекают осадочно-миграционную теорию, разработанную Н.Б. Вассоевичем и его последователями [3, 4, 21-23]. В настоящее время активно развивается направление, получившее название «бассейновое моделирование», в основе которого сохраняется все та же осадочно-миграционная теория, но дополненная кинетическими расчетами скорости генерации нафтидов, основанными на определении энергий активации этого процесса [1, 5, 6, 9, 26].

Несмотря на явную модернизацию обсуждаемой теории, в ней все равно сохраняется множество «белых пятен». Так для прогноза перспективных участков необходимо знать первоначальный нефтегенерационный потенциал исходного ОВ, энергии активации процесса нефтегенерации этим ОВ, тектоническую и связанную с ней термическую историю развития района. Не ясен механизм первичной, а затем и вторичной миграции «микронефти» при формировании залежей нефти. Действительно, эксперименты по определению относительных фазовых проницаемостей нефти и воды в осадочных породах показывают, что при проницаемости пород менее  $1 \cdot 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup> фильтрация нефти в присутствии остаточной воды становится практически невозможной. А глинистые породы обладают гораздо меньшей проницаемостью –  $1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-9}$  мкм<sup>2</sup>! Даже в песчано-алевритовых породах пресловутый эффект Жамена препятствует свободной фильтрации УВ. Необходима какая-то дополнительная сила, способная «пропихнуть» капельку микронефти сквозь поровые каналы в породах-коллекторах, заполненные пластовой водой.

Кроме того, рассматриваемая осадочно-миграционная теория в комплексе с методом бассейнового моделирования предполагает, что из исходного ОВ образуется «готовая» нефть, которая мигрирует в коллектор и насыщает его. Но тогда откуда в юрских (и неокомских тоже) отложениях берутся битумы, причём в различном физическом состоянии – от вязкопластичных до твёрдохрупких?

Чтобы ответить на все эти вопросы и объяснить происхождение битумов в осадочном чехле ЗСБ и особенно в бажено-абалакском комплексе, необходимо привлечение тектоно-гидротермальных процессов, оказывающих активное влияние на генерацию и миграцию нафтидов и, в частности, на образование и распределение битумов в юрских отложениях.

Поэтому настоящая публикация посвящена рассмотрению генезиса битумов в составе юрских осадков под действием тектоно-гидротермальных процессов, протекавших в недавнем прошлом в отложениях ЗСБ. Особенно подробно рассматриваются битумы, присутствующие в составе БС.

### Методы изучения и аппаратура

Пиролитические исследования образцов проводились с помощью программно-аппаратурного комплекса «Хроматэк-Кристалл 5000.2», с помощью которого определялись следующие параметры:  $S_1$ ,  $S_2$  и  $T_{max}$ . Принято считать, что величина  $S_1$  соответствует количеству газообразных и жидких углеводородов (УВ), содержащихся в поровом пространстве образцов и выделяющихся при их нагреве в изотермическом режиме при 300 °C в течение 3 мин. Пик  $S_2$ , также согласно общепризнанному мнению, соответствует количеству УВ, выделяющихся из образцов при их дальнейшем нагреве в интервале температур 300–650 °C в результате термокрекинга оставшейся части ОВ [1, 2, 5, 8, 9, 18, 20, 21, 26].

На анализаторе АН 7529-М, после удаления карбонатов из анализируемых образцов, определялось содержание в них органического углерода ( $C_{opr}$ ). Величина НИ рассчитывалась в соответствии с известным уравнением:

$$HI = S_2 \times 100 / C_{opr}. \quad (1)$$

Вещественный состав и, главным образом, ОВ, присутствующее в БС, исследовалось с использованием электронной (РЭМ) и оптической микроскопии.

С целью оперативного анализа на предмет присутствия или наоборот отсутствия растворимых битумов в отложениях баженовской свиты и их качественного состава использовалась люминесцентно-битуминологическая методика или капельная хроматография, предложенная В.Н. Флоровской (1949, 1951) и позднее модифицированная Ф.М. Эфендиевым (1953).

В соответствии с этой методикой на порошковые пробы наносится (из пипетки) капля хлороформа, который растворяет битуминозные вещества, и на месте капли появляется светлое пятно (голубоватое, беловатое, желтеющее, бурающее в ультрафиолетовом свете). По цвету этого пятна по упомянутой выше методике В.Н. Флоровской выделялись битумы 4 групп:

- 1) легкий битумы (ЛБА);
- 2) маслянистый битум (МБА);
- 3) средний битум (СБА);
- 4) смолисто-асфальтеновый битум (САБА).

Несмотря на некоторые известные недостатки данной методики, она была использована из-за её простоты и оперативности проведения анализов. С целью исключения кинетического фактора, заключающегося в изменении цвета хлороформных вытяжек с течением времени, их фотографирование осуществлялось практически сразу после проведения теста.

Моделирование воздействия гидротермальных флюидов различного состава на ОВ, присущую в осадочных породах юрского возраста, осуществлялось в интервале температур от 235 до 390 °C, мольная доля углекислоты ( $\chi_{CO_2}$ ) в составе флюида изменялась от 0 до 0,12, а гидростатическое давление во всех

экспериментах равнялось 70 МПа, для этого использовались специальные автоклавы высокого давления. Продолжительность экспериментов составляла от 5 до 19 суток [16].

## Результаты исследований

Начнем рассмотрение с самых древних юрских отложений, в которых были обнаружены битумы. Эти сильно метаморфизованные битумы, имеющие твердохрупкую консистенцию, покрывают тонкой пленкой поверхность субвертикальных трещин, образовавшихся в нижнеюрских отложениях Северо-Вареньганского месторождения (глубина около 3500 м), представленных глинистыми микрокварцитами, которые образовались из исходных нижнеюрских аргиллитов в результате воздействия на них кислых гидротермальных флюидов (рис. 1а, б).

Кристаллы порового эпигенетического диккита (Талинская площадь, пласти ЮК<sub>10-11</sub>) также покрыты тонкими плёнками интенсивно метаморфизованного битума, приобретшего вследствие этого своеобразную «такыроподобную» микротекстуру (рис. 1в).

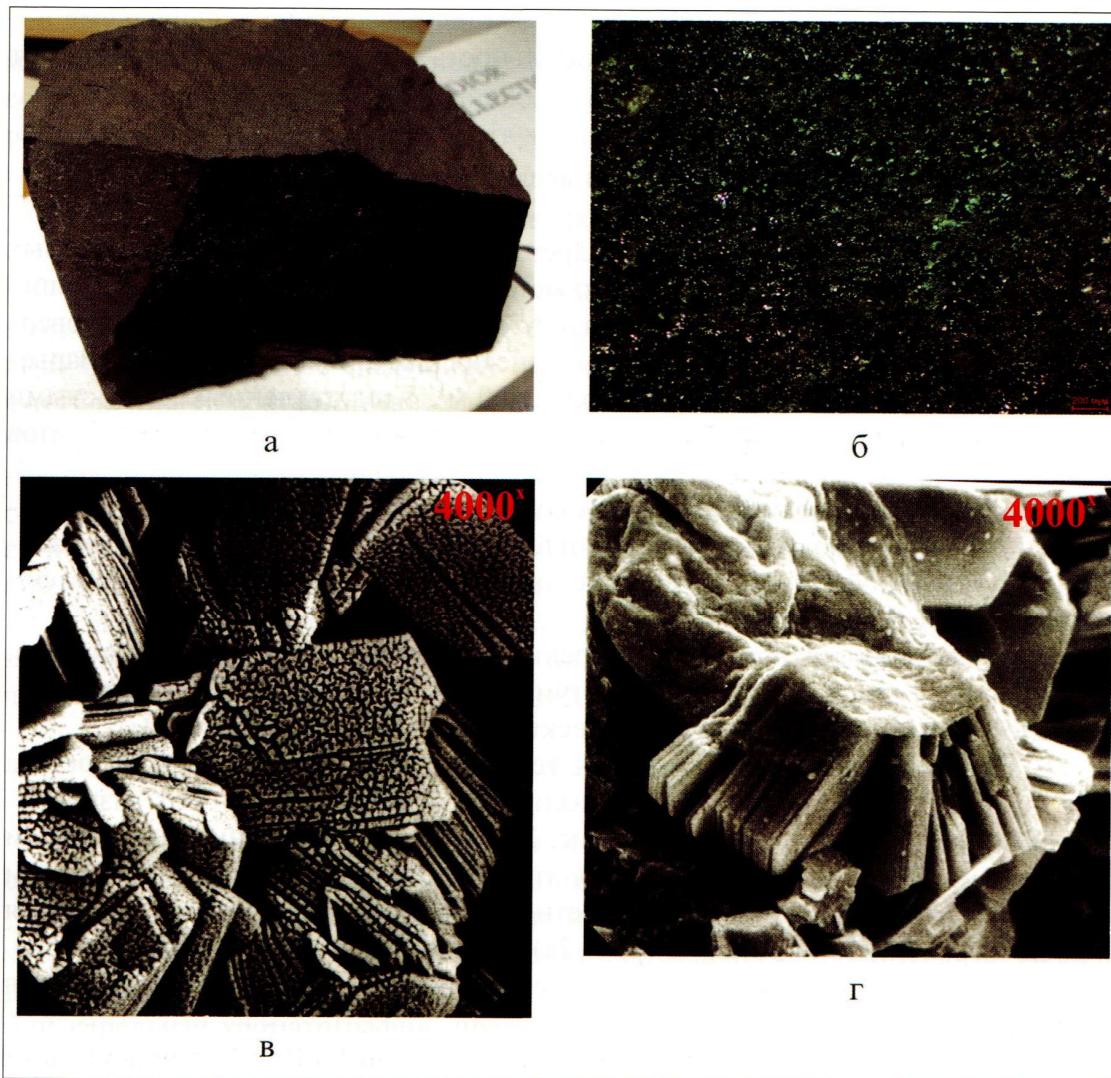
В поровом пространстве среднеюрских песчаников (Ем-Еговская площадь, пласти ЮК<sub>2-9</sub>) отмечаются плёнки битумов, напоминающих своеобразное покрывало, накрывающее поликристаллический агрегат диккита (рис. 1г).

В зависимости от интенсивности температурного воздействия и состава исходного ОВ битумы могут иметь различную консистенцию – от вязкопластичной (рис. 2а) до твёрдохрупкой (рис. 2б). Судя по полученным элементным спектрам, битумы относятся к классу тиобитумов, то есть содержат в своём составе серу (рис. 2а, б). На поверхности битумов и рядом с ними отмечаются хорошо огранённые кристаллы (рис. 2а) или мелкозернистые агрегаты (рис. 2б) сульфата железа. Причём в последнем случае отмечается примесь никеля и цинка.

В верхнеюрских песчаниках (пласт П<sub>1</sub>, Шаймский НГР) также присутствует тиобитум, часто почти полностью заполняя собою поровое пространство между обломочными зёренами и резко ухудшая фильтрационно-емкостные свойства пород-коллекторов (рис. 2в, г). Эти битумы отличаются от рассмотренных ранее гораздо более низким содержанием в них серы (рис. 2в, г).

Необычные породы встречены в составе пласта ЮВ<sub>1</sub><sup>0</sup> (Ахтамарское месторождение), сложенные мелкими прекрасно огранёнными кристаллами кварца, названные автором псевдокварцитами [14] (рис. 3а). Эпигенетические кристаллы кварца отмечаются также в почти полностью замещённых пиритом растительных остатках (рис. 3б) и на поверхности углефицированных обломков, сохранивших клеточную микротекстуру (рис. 3в). Битум (тиобитум), присутствующий в поровом пространстве между кристаллами кварца, имеет микрокомковатую структуру (рис. 3г).

В прозрачных петрографических шлифах хорошо видно, что основная часть порового пространства между кристаллами кварца занята битумом и лишь небольшая их часть (открытые поры) окрасилась красной смолой (рис. 3д). Также в шлифах хорошо видно, что кристаллы кварца внедряются в растительные обломки с сохранившейся клеточной микротекстурой, здесь же присутствует тиобитум и часть открытых пор, прокрасившаяся красной смолой (рис. 3е).



*Рис. 1. Битумы на поверхности трещин (а, б) и в поровом пространстве пород-коллекторов (в, г) нижне- и средненеурских отложений: а, б – глинистый микрокварцит нижненеурского возраста (Северо-Варьеганско месторождение); в – диккит, поверхность которого покрыта тонкой плёнкой метаморфизованных битумов с «такыроподобной» микротекстурой (нижняя юра, Талинская площадь); г – диккит, накрытый тонким «покрывалом» битума (средняя юра, Ем-Еговская площадь)*

Аналогичный одновозрастной пласт ( $\text{ЮС}_1^0$ ) встречен и на Грибном месторождении. Он представляет собой кавернозный псевдокварцит, в котором поровое пространство между микрокристаллами кварца почти полностью заполнено битумом (рис. 4а, б). В прозрачных петрографических шлифах хорошо видны кристаллы кварца и поровое пространство, заполненное главным образом битумом черного цвета с небольшой долей открытых пор, в которых присутствует смола голубого цвета (рис. 4в). Так же, как и в рассмотренных ранее породах пласта  $\text{ЮВ}_1^0$  Ахтамарского месторождения, в псевдокварцитах рассматриваемого

месторождения встречается углефицированный растительный детрит с сохранившейся клеточной микротекстурой. В нём отмечаются кристаллы кварца, битум и открытые поры, прокрасившиеся голубой смолой (рис. 4г).

Из углей, подстилающих псевдокварциты, под действием гидротермальных флюидов вытопились битумы, застывшие на их интенсивно пиритизированной поверхности (рис. 4д, е).

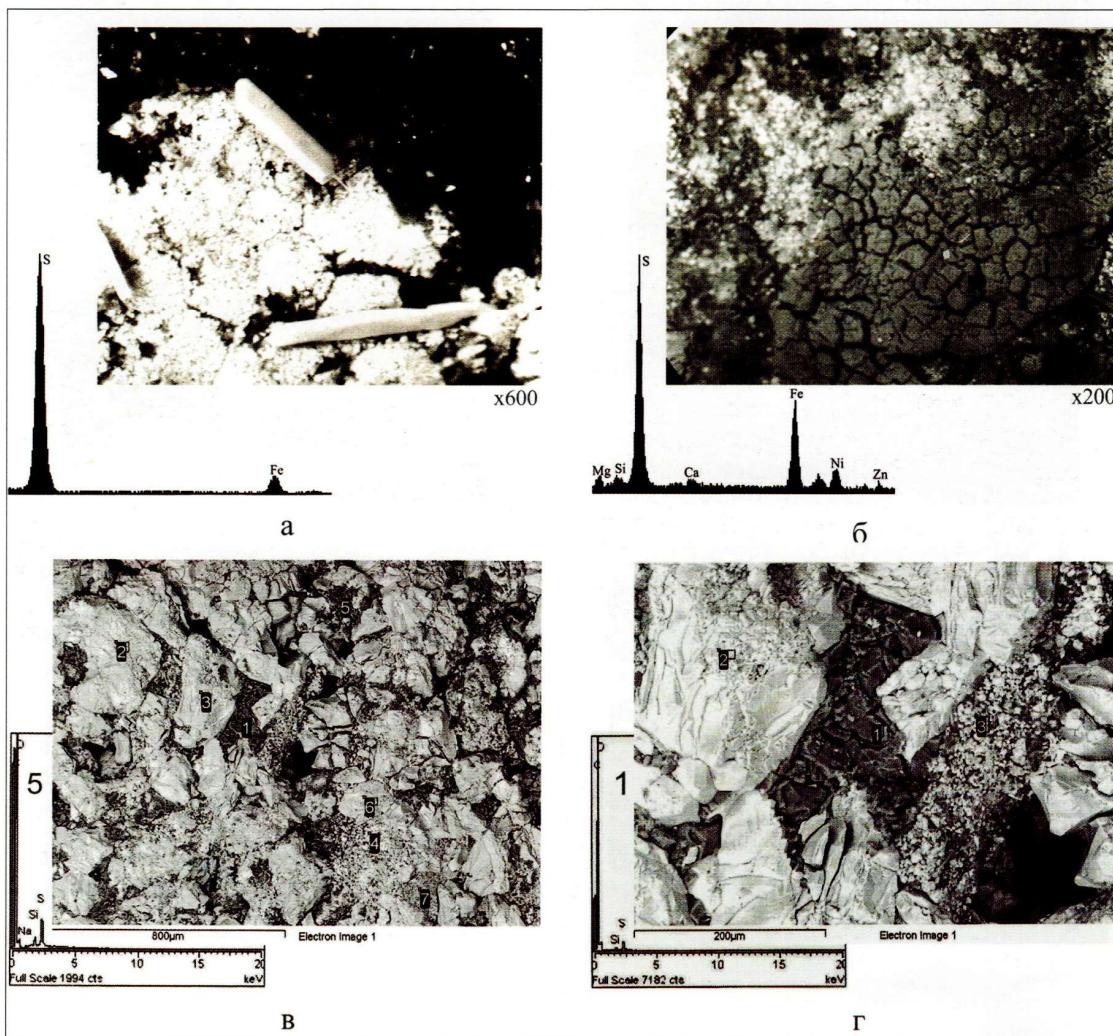
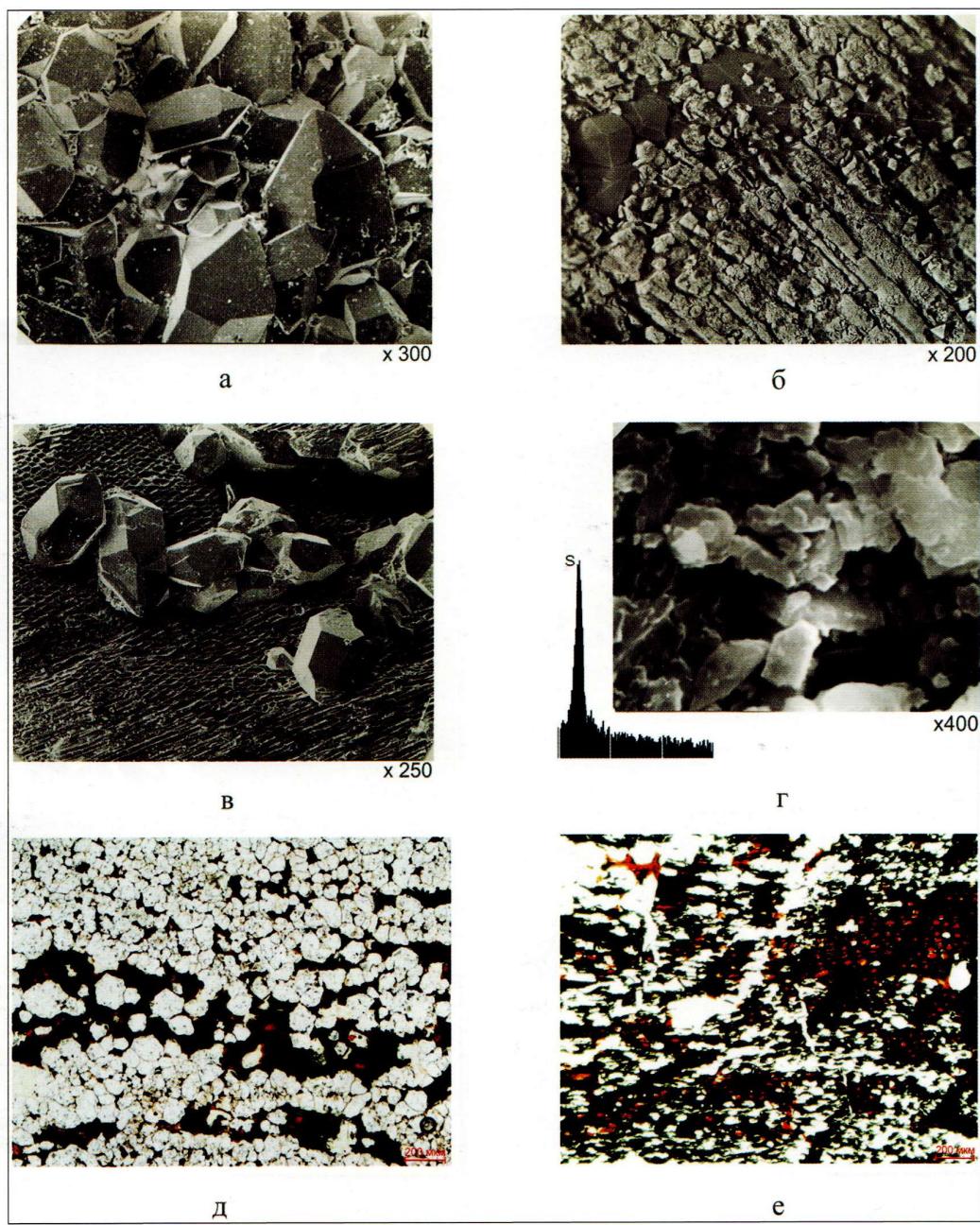


Рис. 2. Битумы в среднеуральских (а, б) и верхнеуральских (в, г) отложениях:

а – битум с высоким содержанием в его составе серы (чёрное вверху) и кристаллы сульфата железа (светло-серые в центре и внизу), пласти  $\text{ЮК}_{2-9}$ , Ем-Еговская площадь;  
б – метаморфизованный трещиноватый битум (в центре) с многочисленными мелкими агрегатами сульфата железа светло-серого цвета на его поверхности (вверху и слева), пласти  $\text{ЮК}_{2-9}$ , Ем-Еговская площадь; в – песчаник с битумом в его порах, пласт  $\text{П}_1$ , Шаймский НГР; г – увеличенный фрагмент предыдущего снимка. Под снимками на этом рисунке и на последующих приведены элементные спектры, полученные с микрообъектов (обозначены цифрами) или с их площади (без цифр), в иных случаях относительно приводимых спектров даются пояснения в тексте



*Рис. 3. Снимки РЭМ (а-г) и прозрачных петрографических шлифов (д, е) битумов в псевдокварцитах верхнеюрского возраста, пласт ЮВ<sub>1</sub>, Ахтамарское месторождение:*

*а — микрокристаллы кварца, слагающие псевдокварциты с битумами, заполняющими поровое пространство между соседними кристаллами; б — интенсивно пиритизированный с поверхности, частично превратившийся в битум, растительный обломок с внедрившимися в него кристаллами гидротермального кварца (слева вверху); в — кристаллы кварца на подложке метаморфизованного растительного детрита с сохранившейся клеточной микротекстурой; г — тиобитум с комковатой микротекструктурой; д — битум в порах псевдокварцита с частично сохранившимися открытыми порами, заполненными красной смолой; е — углефицированный растительный обломок с сохранившейся клеточной микротекструктурой с вросшими в него многочисленными кристаллами кварца, битумом и открытыми порами, заполненными красной смолой*

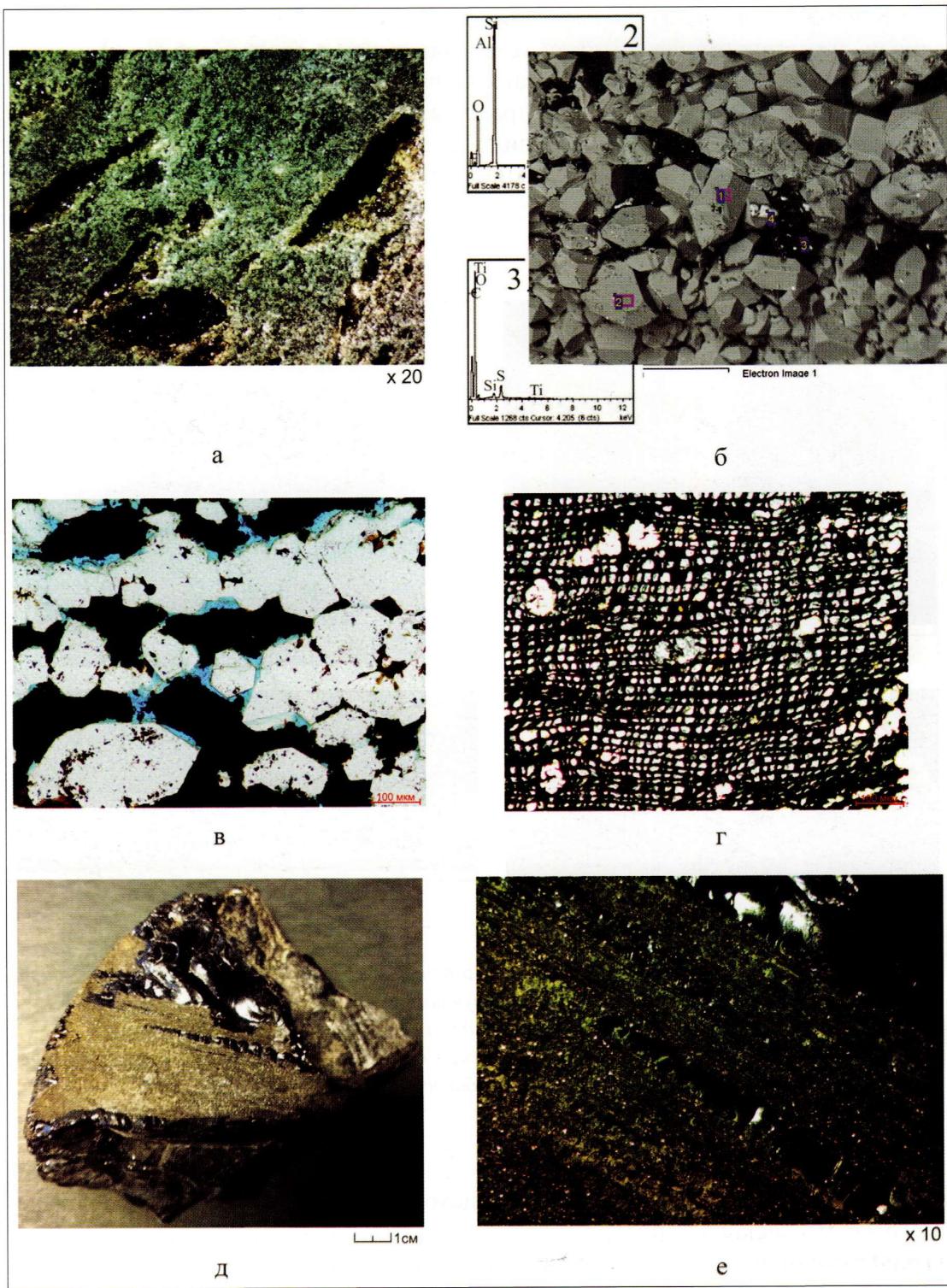
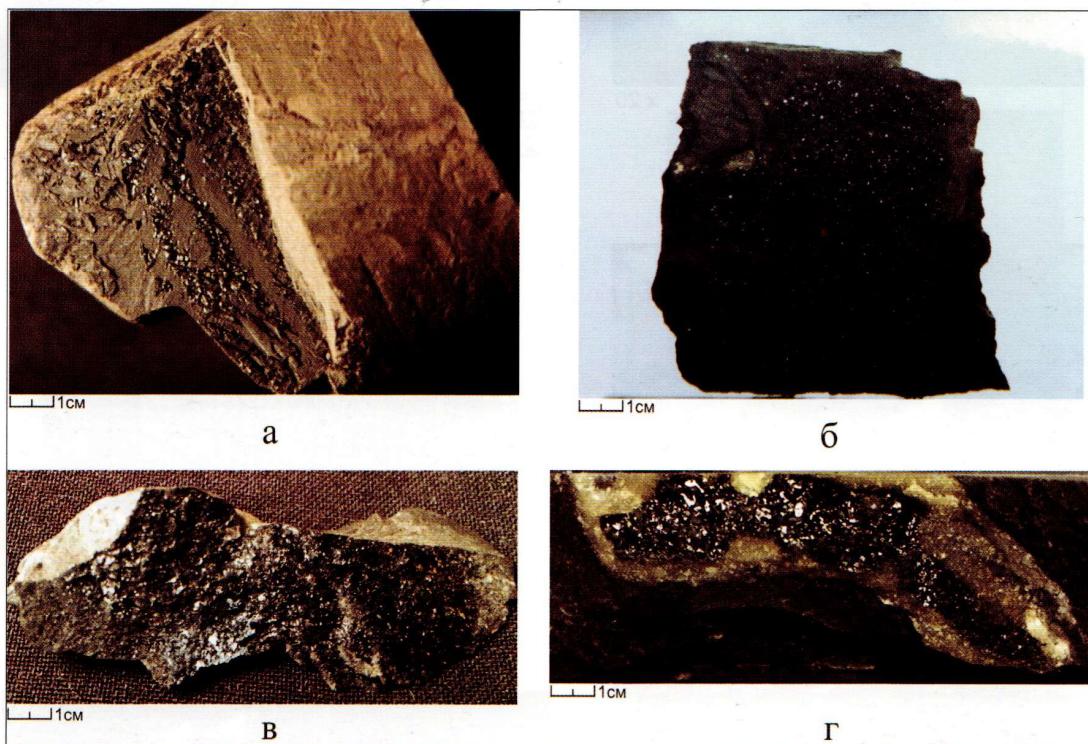


Рис. 4. Фотографии образцов псевдокварцита (а), угля, частично превратившегося в битум (д, е), снимки РЭМ (б), а также прозрачных петрографических шлифов псевдокварцита (в) и углефицированного растительного детрита, сохранившего клеточную микротекстуру (г); пласт  $ЮС_1^0$ , Грибное месторождение, пояснения в тексте

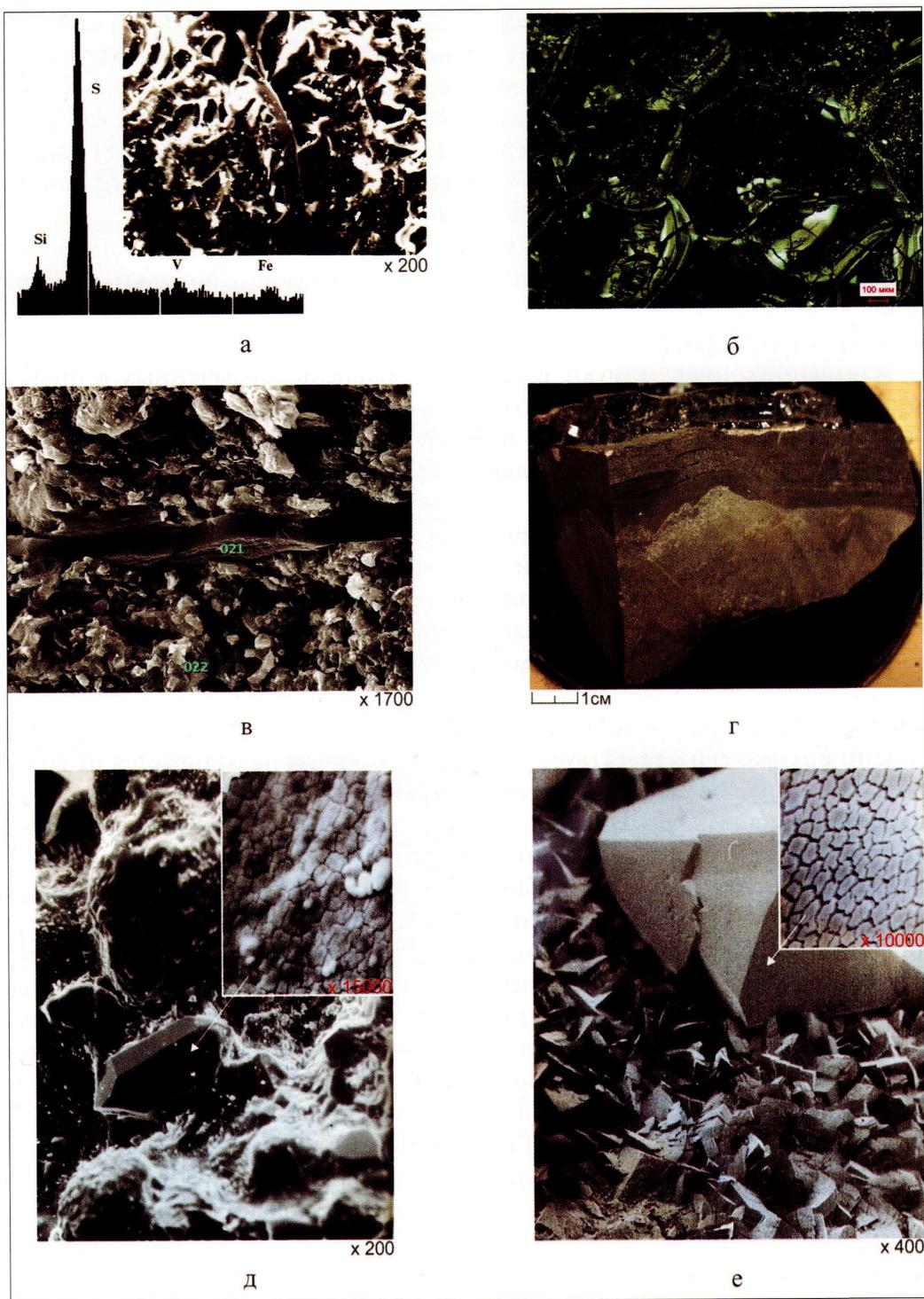
В верхнеюрско-нижненеокомском бажено-абалакском комплексе наиболее однозначно присутствие битумов устанавливается в компетентных разновидностях пород, входящих в их состав, названных автором потенциально продуктивными (ППП). Эти породы представлены кремнистыми, карбонатными и переходными между ними разновидностями [12-14]. Битумы в этих породах чаще всего присутствуют на поверхностях трещин (рис. 5а-в) или заполняют каверны (рис. 5г).



*Рис. 5. Образцы, отобранные из баженовской и тутлеймской свит, с пленками битумов на поверхности трещин и каверн, присутствующих в них (по [12-14] с добавлениями):  
а – силицит; б – карбонатный радиолиарит; в – известняк; г – известняк, а, б –  
Маслиховское месторождение; в – Пальяновская площадь; г – Приобское месторождение  
(по [12] с добавлениями)*

Битумы в зависимости от состава исходного ОВ и степени катагенетического (термического) преобразования имеют различную консистенцию – от вязкопластичной, до твердохрупкой (рис. 6а и б, соответственно). Битуминозные прослои также имеют различные размеры – от микроскопических, толщиной всего около 2,5-3,0 мкм, до 5-6 мм (рис. 6в и г, соответственно).

Тонкие пленки метаморфизованных битумов, покрывающие поверхность кристаллов, например, кварца, имеют «такыроподобную» микротекстартуру (рис. 6д, е). Подобная микротекстартура наблюдалась и на поверхности кристаллов диккита, на что обращалось внимание ранее (рис. 1в).



*Рис. 6. Битумы в составе баженовской и тутлеймской свит, обладающие различной консистенцией (а, б), размерами (в, г) и примеры их микротекстуры (д, е), (по [12, 13] с добавлениями). а – пластично-вязкий ванадиеносный тиобитум; б – твердохрупкий битум; в – микропрослоек битума; г – образец с прослойем битума на его поверхности; д, е – кристаллы кварца, покрытые тонкими пленками битумов с «такыроподобной» микротекстурой, приведенной на врезках; а, д, е – Маслиховское месторождение; в – Верхне-Салымское месторождение; б, г – Пальяновская площадь*

На поверхности трещин и каверн, присутствующих в ППП, нередко отмечаются прекрасно огранённые кристаллы гидротермальных минералов, часто окруженные или покрытые метаморфизованными битумами. В основном они представлены кварцем, причём, иногда нескольких генераций (рис. 7а, б), апатитом с магнезиальным кальцитом (рис. 7в), баритокальцитом (рис. 7г), гармотомом (рис. 7д) и более многочисленными ассоциациями, в состав которых входят кварц, барит, магнезиальный кальцит и доломит (рис. 7е).

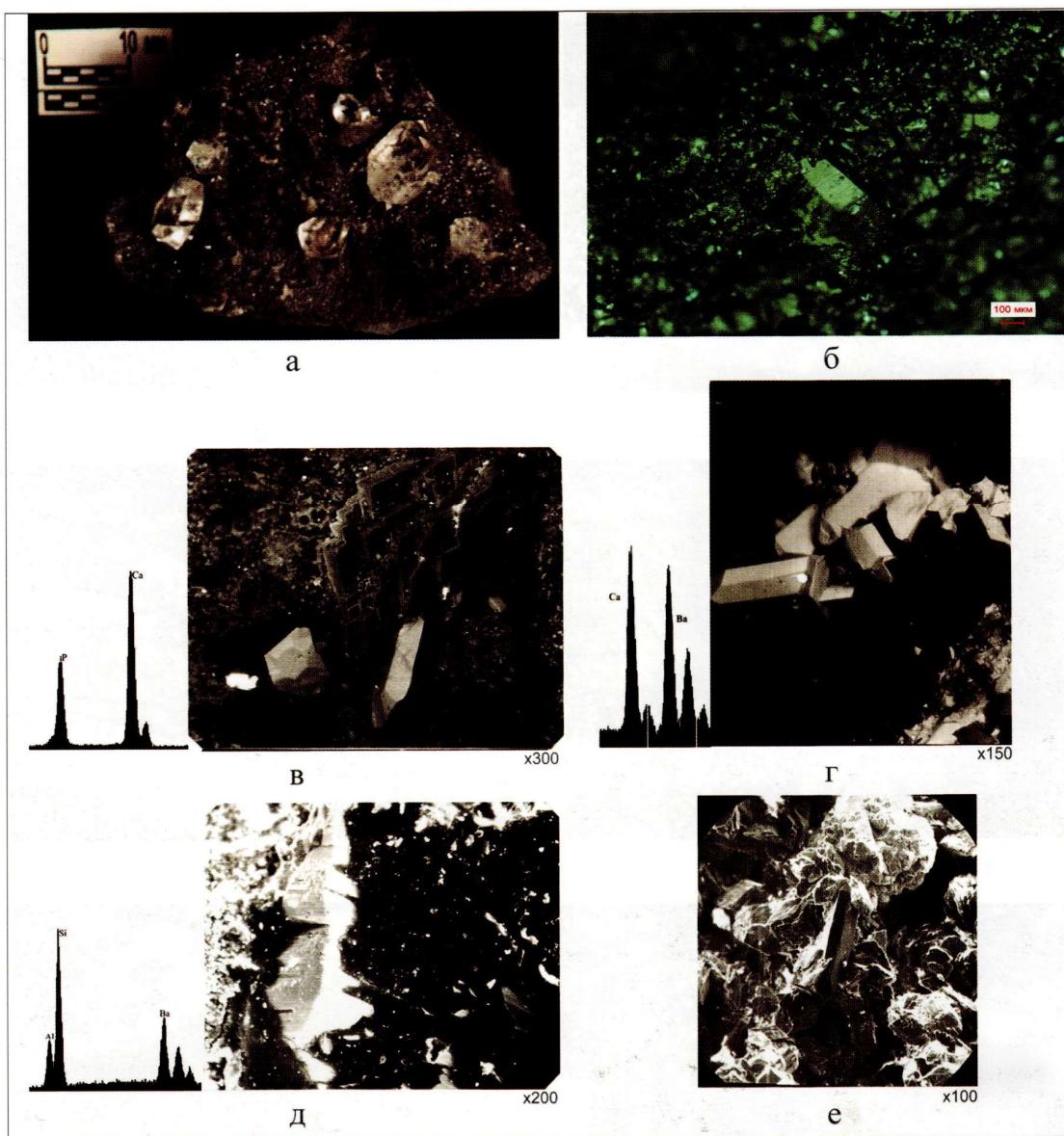
В прозрачных петрографических шлифах также прекрасно видны битумы, присутствующие в ППП в различном виде. Часто они заполняют микротрещинки в карбонатах (рис. 8а, б), трещинки и микрокаверны в известняках и прослоях, сложенных раздробленными раковинками двустворок (рис. 8в и г, соответственно), присутствуют в виде микрокапель, захваченных в процессе роста радиально-лучистыми сферолитами, сложенными халцедоном (рис. 8д) и, наконец, заполняют пустотное пространство между агрегатами эпигенетического каолинита (диккита) и мелкими кристаллами кварца, находящимися в микрокавернах (рис. 8е).

Пирограммы битумов и образцов баженовской свиты и её литостратиграфических аналогов, в которых они присутствуют, абсолютно одинаковы (рис. 9а, б). То есть, в порах этих образцов присутствуют те же самые битумы, что выделились в отдельную фазу в виде тонких прожилков.

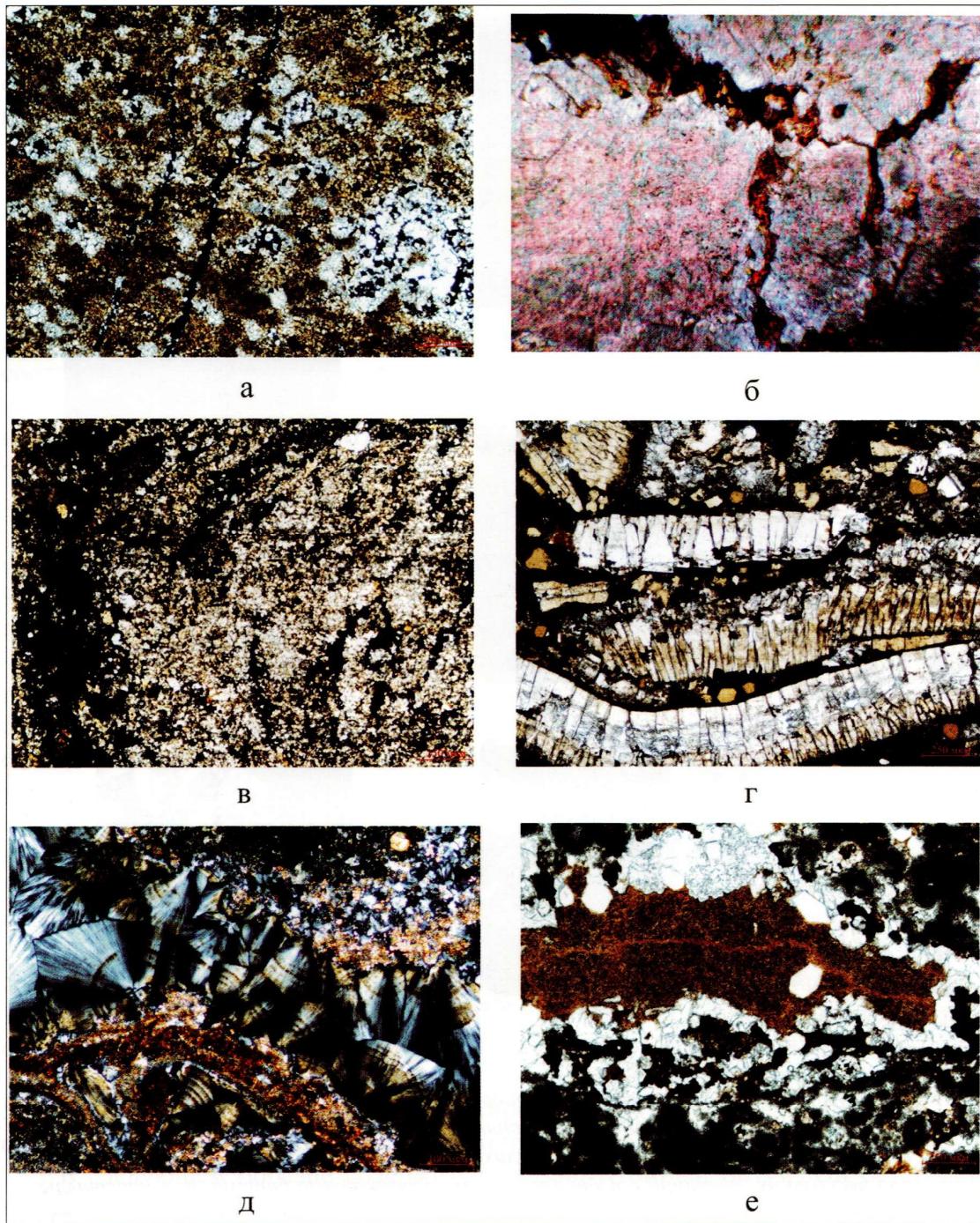
На пирограммах рассматриваемых битумов и образцов присутствует небольшой пик  $S_1$ , который обычно интерпретируется как подвижные УВ, содержащиеся в порах этих образцов и битумов. Однако анализ спектра ЯМР, полученного от такого битума, свидетельствует о том, что он ничем не отличается от спектра «шума». Иными словами, в битуме отсутствуют подвижные УВ, способные сформировать сигнал. Можно заключить, что присутствующие в составе битума УВ находятся в нём в форме «твёрдого» раствора [10, 11].

Сопоставление результатов капельной хроматографии и пиролитических исследований позволило установить следующее. Типично аллохтонные битумы оставляют на фильтровальной бумаге широкое кольцо светло-желтого цвета, соответствующее смеси первого и второго типов (ЛБА и МБА). На пирограммах таких образцов хорошо различим дополнительный пик  $S_2^0$ , который, вероятно, соответствует испарению и/или деструкции тяжелых УВ масляной фракции (рис. 10а). Для этого типа лёгких битумов характерен небольшой по амплитуде пик  $S_2$ , отвечающий концентрации в них пиролизуемых гетеросоединений (ГС) и, соответственно, довольно высокой величиной отношения  $S_1/S_2$  (рис. 10а).

В следующем образце содержится параавтохтонный битум. Он оставляет на фильтровальной бумаге также довольно широкое кольцо, свидетельствующее о достаточно большой концентрации в нём растворимых в хлороформе битумоидов, причём, судя по цвету этого кольца, можно заключить, что битум, из которого они экстрагировались хлороформом, относится преимущественно ко второму и третьему классам (МБА и СБА). Гораздо большая величина пика  $S_2$  по сравнению с тем же пиком в предыдущем образце и, соответственно, меньшее значение отношения  $S_1/S_2$  в рассматриваемом образце по сравнению с предыдущим свидетельствует о большем содержании в нём гетеросоединений, чем в ранее рассмотренном (рис. 10б).



*Рис. 7. Битумно-минеральные ассоциации гидротермального происхождения в отложениях бажено-абалакского комплекса и его литостратиграфических аналогах (а – Пальяновская, б и е – Ем-Еговская площади, в-д – Маслиховское месторождение): а, б – кристаллы кварца нескольких генераций с пленками метаморфизованного битума; в – кристаллы апатита (светло-серые), магнезиального кальцита (тёмно-серые) и пленки битума (чёрное); г – кристаллы баритокальцита (светло-серые), окруженные и частично покрытые битумом (чёрное); д – кристаллы гармотома (светло-серые), покрытые битумом (чёрное); е – минеральная ассоциация гидротермального происхождения, представленная кристаллом кварца (в центре), поликристаллическим агрегатом барита (вверху), кальцитом (окружает кристалл кварца) и доломитом (справа и внизу), слева от снимков расположены элементные спектры, полученные с поверхности кристаллов: апатита (в); баритокальцита (г) и гармотома (д)*



*Рис. 8. Трещиноватые и трещиновато-кавернозные образцы бажено-абалакского комплекса, содержащие в себе метаморфизованные битумы ([по 12-14] с добавлениями):  
 а – карбонатный радиолиарит; б – микрозернистый известняк; в – мелкозернистый известняк; г – ракушняк; д – известняк с агатовидными (за счет микровключенияй нафтидов) сферолитами халцедона; е – карбонатный копролит с микрокаверной, заполненной агрегатами гидротермального каолинита (диккита) и кристаллами кварца,*  
*а – Каменная, б – Ем-Еговская, в, г, е – Пальяновская площади, д – Маслиховское месторождение*

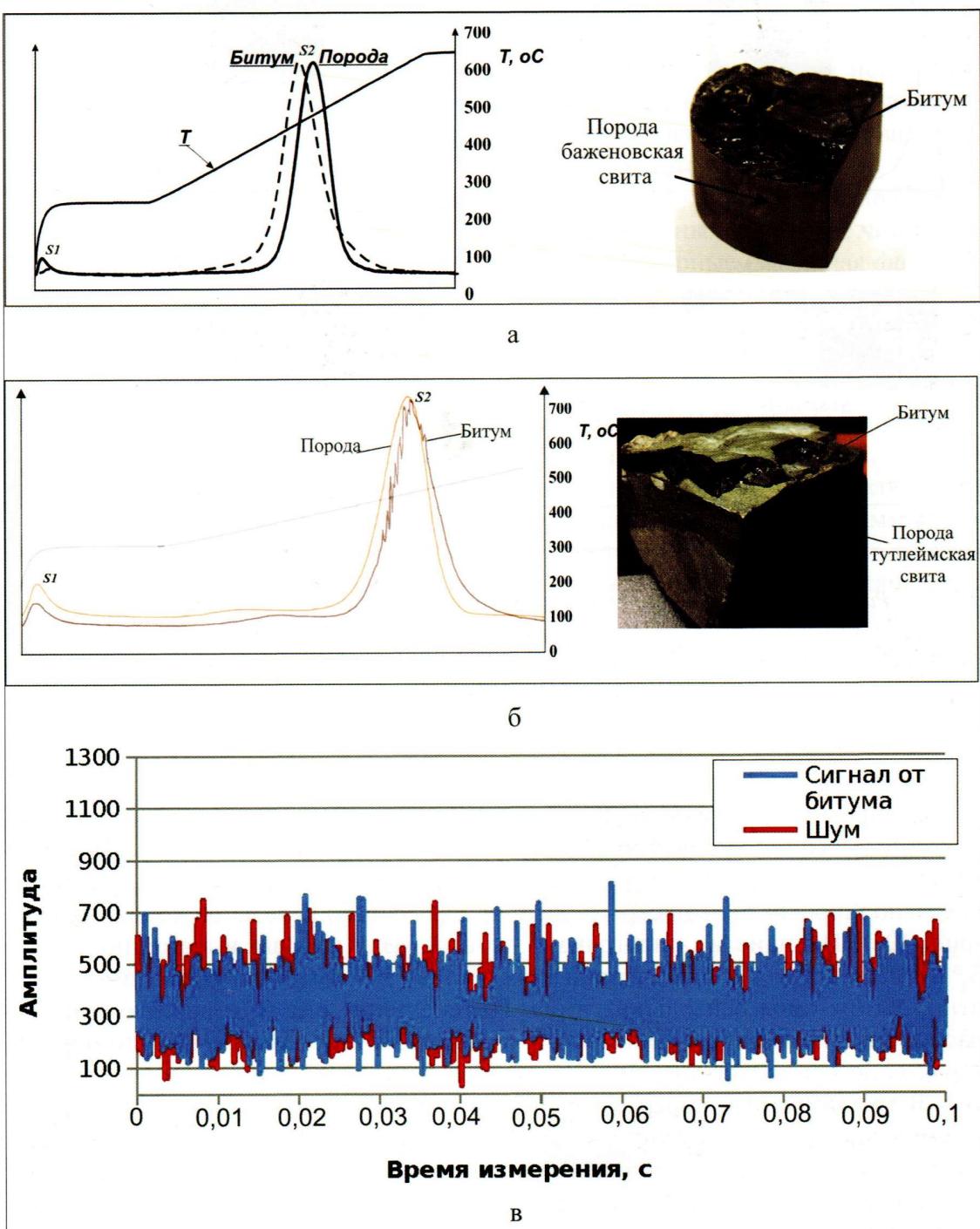
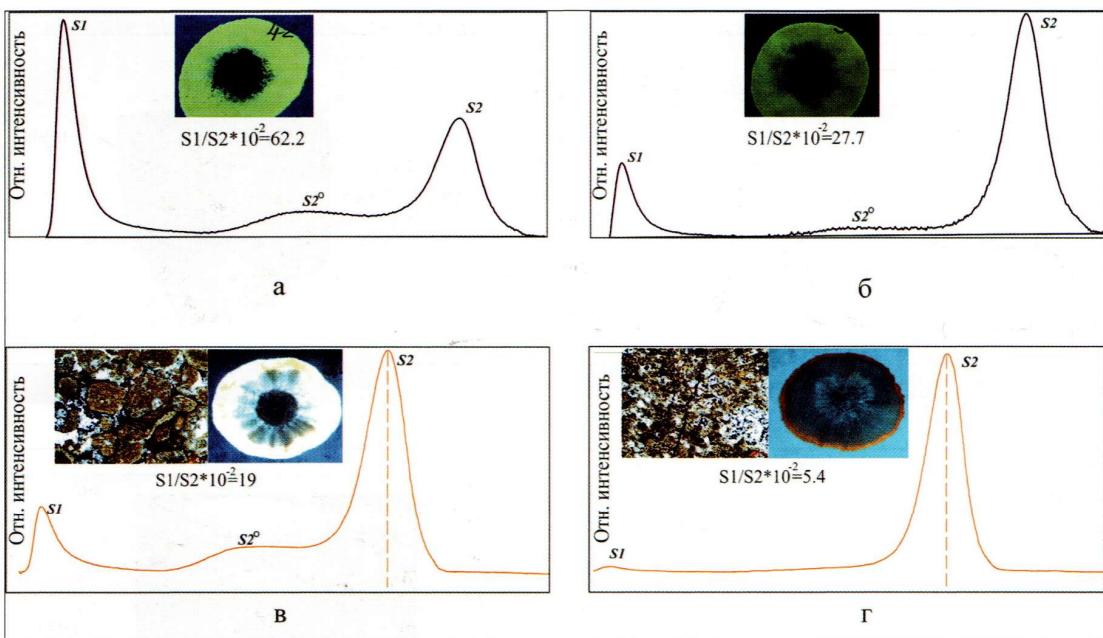


Рис. 9. Результаты пиролитических исследований образцов и битумов баженовской (а) и тутлеймской (б) свит, а также спектры ЯМР битума и шума (в): а – баженовская свита (по данным В.Н. Меленевского, ИННГ СО РАН); б – тутлеймская свита, Пальяновская площадь; в – релаксационные кривые ЯМР сигнала от образца битума, представленного на предыдущем снимке и шума (по [10, 11])



*Рис. 10. Результаты капельной хроматографии, пирограммы и фотографии петрографических шлифов образцов тутлеймской свиты (Пальяновская площадь): а – кремнистый известняк; б – слабокарбонатный силицит, в – фосфоритовый копролит; г – трещиноватый карбонатный радиолярит, пояснения в тексте*

В поровом пространстве фосфоритового копролита присутствуют явно аллохтонные нефтеподобные нафтиды, однако наряду с лёгкими и средними по молекулярному весу УВ в них много гетеросоединений. Об этом свидетельствует довольно широкое кольцо серого цвета на полученной капельной хроматограмме (рис. 10в). Наличие на пирограмме этого образца хорошо выраженного пика  $S_2^0$  свидетельствует о присутствии в их составе УВ масляной фракции и, вероятно, лёгких смол бензольного типа. Интенсивный пик  $S_2$  говорит о том, что рассматриваемые битумы богаты гетеросоединениями. Для изучаемого образца характерно невысокое значение отношения  $S_1/S_2$  (рис. 10в).

В трещиноватом образце карбонатного радиолярита присутствует сильно термически преобразованный, слаборастворимый в хлороформе битум, о чём свидетельствует очень тонкое кольцо темно-коричневого цвета на капельной хроматограмме (рис. 10 г). Растворимая его часть относится к четвёртому типу битумов, состоящему преимущественно из смол и асфальтенов (САБА). Малоамплитудный пик  $S_1$  соответствует небольшому количеству УВ, присутствующему в битуме в форме «твёрдого» раствора. Для этого образца характерно очень маленькое по величине отношение  $S_1/S_2$  (рис. 10г).

Необычная по форме пирограмма получена при исследовании образца кремнистого известняка, поровое пространство которого заполнено лёгкими аллотигенными нафтидами нефтяного ряда (рис. 11а). Обычно единственный пик  $S_1$  в этом образце распался на два, а пик  $S_2^0$  является на пирограмме этого образца главным, в то время как более обычный пик  $S_2$  проявился в форме едва

заметного «плеча» (рис. 11а). Полученная капельная хроматограмма в виде очень узкого кольца светло-серого, почти белого цвета, свидетельствует о том, что в поровом пространстве рассматриваемого образца присутствуют в небольшом количестве аллотигенные нефтеподобные нафтиды, относящиеся к первому классу (ЛБА). Они состоят из УВ, включая высокомолекулярные разновидности (масляная фракция), с очень небольшой примесью гетеросоединений.

Пирограмма следующего образца кремнистого известняка заметно отличается от предыдущего. В нём гораздо больше аллотигенных нафтидов, чем в предыдущем, причём кроме УВ, включая высокомолекулярные (масляная фракция) разновидности, в его составе довольно много гетеросоединений, что подтверждается наличием помимо пика  $S_2^0$ , хорошо выраженного высокоамплитудного пика  $S_2$  (рис. 11б). Об этом же свидетельствует широкое кольцо тёмно-коричневого цвета на капельной хроматограмме (рис. 10б). Этот тип битума соответствует переходной между второй и третьей разновидностями (МБА-СБА).

Следующий образец, условно названный глинистым силицитом, выделяется очень высоким содержанием битумов, причём, судя по цвету полученной с использованием его порошкообразной пробы капельной хроматограммы, они относятся к четвёртому типу (САБА), то есть состоят, главным образом, из гетеросоединений (рис. 11в). Очень узкое кольцо темно-бурового цвета на капельной хроматограмме, свидетельствует о том, что рассматриваемые битумы очень слабо растворимы в хлороформе, то есть сильно метаморфизованы. На пирограмме этого образца явно выделяется лишь один пик  $S_2$ , возникновение которого обусловлено термолизом асфальто-смолистых соединений (рис. 11в).

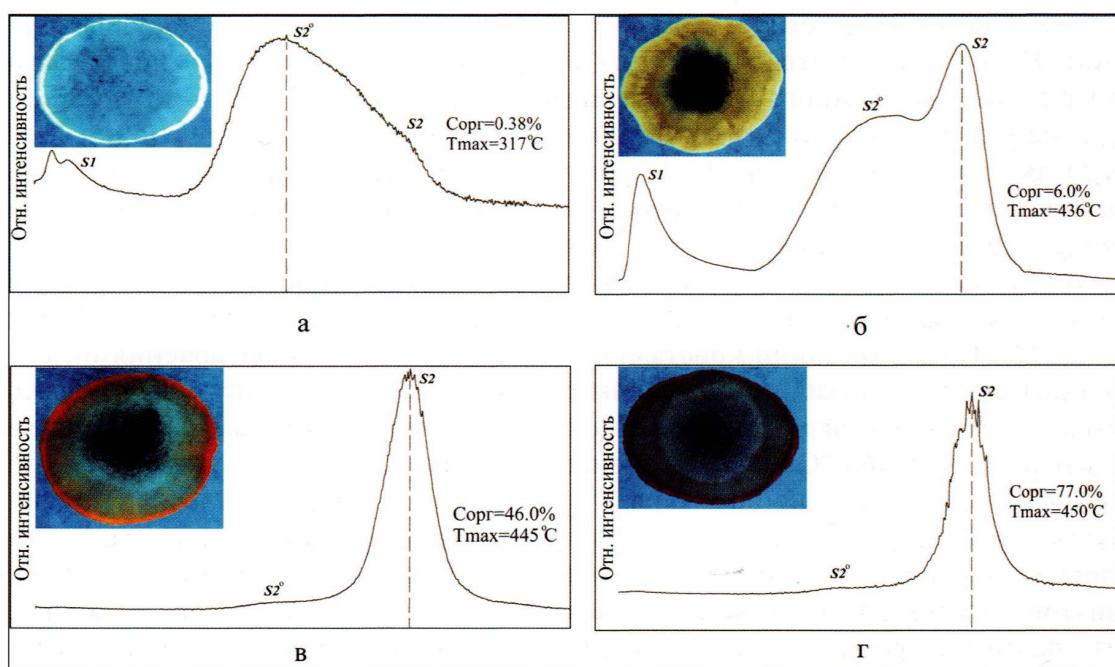
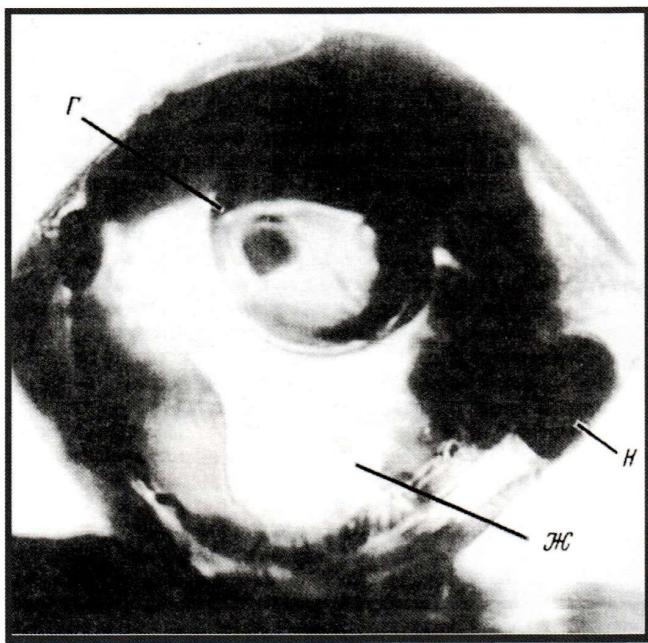


Рис. 11. Пирограммы и результаты капельной хроматографии образцов тутлейской свиты с различным содержанием в их составе битумов (Ем-Еговская площадь): а, б – кремнистые известняки; в – глинистый силицит сильно битуминозный; г – битум с мелкодисперсными включениями карбонатного материала, пояснения в тексте

Последний образец представлен почти чистым битумом с небольшим количеством рассеянных в нём мелких обломков глинисто-кремнистого материала. Он, как и предыдущий образец, относится к четвёртому типу (САБА), что демонстрируется полученной на его порошке очень узкой капельной хроматограммой, имеющей тёмно-бурый цвет, что свидетельствует о крайне низкой растворимости этого битума в хлороформе и преимущественно асфальтеновом его составе (рис. 11г). На его пирограмме присутствует лишь один пик  $S_2$ , возникший вследствие термического разложения гетеросоединений.

Следует обратить внимание на тот факт, что если в первых двух из рассмотренных четырёх образцов нефтеподобные битумы имеют в основном аллохтонное происхождение, то последние два – параавтохтонное или даже, вероятно, автохтонное. Они представляют собой своеобразные реститы исходного ОВ, потерявшего свою мобильную часть в форме нефти и/или газа и оставшуюся на месте в виде метаморфизованного битума, термически преобразованного в большей или меньшей степени. Величину термического воздействия гидротермальных флюидов на исходное ОВ и образовавшегося в результате этого воздействия битума, легко оценить по величине  $T_{max}$  пика  $S_2$ . Действительно, в зависимости от величины температуры гидротермальных флюидов, изменяется и значение  $T_{max}$ , которое закономерно увеличивается с ростом температуры этих флюидов, воздействовавших на исходное ОВ (рис. 11а-г).

Оценить величину температурного режима гидротермальных флюидов можно используя результаты определения температуры гомогенизации углеводородных включений в кристаллах, например, гидротермального кварца. Такие исследования были выполнены Ю.В. Щепёткиным на образцах желтого кварца, отобранных автором из крупных каверн карбонатного пласта КС<sub>1</sub>, подстилающего баженовскую свиту, вскрытого скв. 554Э на Салымском месторождении. Необычный желтый цвет этим мелким (длиной до 3-5 мм) кристаллам кварца придавали многочисленные мелкие включения нафтидов, имевшие в среднем диаметр около 0,1 мм, которые, вероятно, представляли собой нефтяную эмульсию, образовавшуюся при охлаждении первоначально гомогенного высокотемпературного углеводородо-водного гидротермального флюида. Под микроскопом хорошо видно, что эти включения состоят из трёх фаз, представляющих собой пузырьки газа, желтую похожую на конденсат нефть и темную вязкую субстанцию, вероятно, сложенную тяжелыми УВ и гетеросоединениями (рис. 12). При нагревании кристаллов кварца с этими микровключениями, наблюдалась гомогенизация газа и жидкости, представленной, как уже говорилось выше, светло-желтой нефтью, похожей на конденсат, в одну фазу в интервале температур 225-265 °C [26]. Гомогенизации или растворения в жидкой фазе темно-коричневой вязкой фазы не наблюдалось даже при нагреве до температуры 330 °C! [26]. При ещё большем нагреве включения просто взрывались, что свидетельствует об очень высоком давлении, возникавшем вследствие нагрева, внутри этих микрокапель эмульсии. Исходя из этих данных, можно заключить, что палеотемпературы, существовавшие в БС в разрезе рассматриваемой скважины, в геологическом прошлом были не ниже 225-265 °C. Верхнее их значение вполне могло превышать 330 °C, так как даже при этой достаточно высокой температуре полной гомогенизации включений эмульсии, присутствующих в кристаллах кварца всё-таки не происходило [26].



*Рис. 12. Углеводородное трехфазное включение в кристалле желтого кварца, пласт КС<sub>1</sub>, скв. 554Э, Салымское месторождение (по [26]): Г – газ, Ж – желтая нефть или конденсат; Н – тёмная вязкая нефть, богатая гетеросоединениями, или битум*

После воздействия на углисто-алевритистый аргиллит гидротермального флюида, имевшего температуру 275 °C, его цвет с тёмно-серого изменился на серый с буроватым оттенком, а на его поверхности появились плёнки или корочки, а также мелкие капли застывшего битума (рис. 13а, б). Судя по элементному спектру, полученному с поверхности одной из капель, в составе образовавшегося битума присутствует сера, то есть это тиобитум. Кроме того, на его поверхности образовались мелкие агрегаты магнезиально-железистого хлорита гидротермального происхождения (рис. 13б).

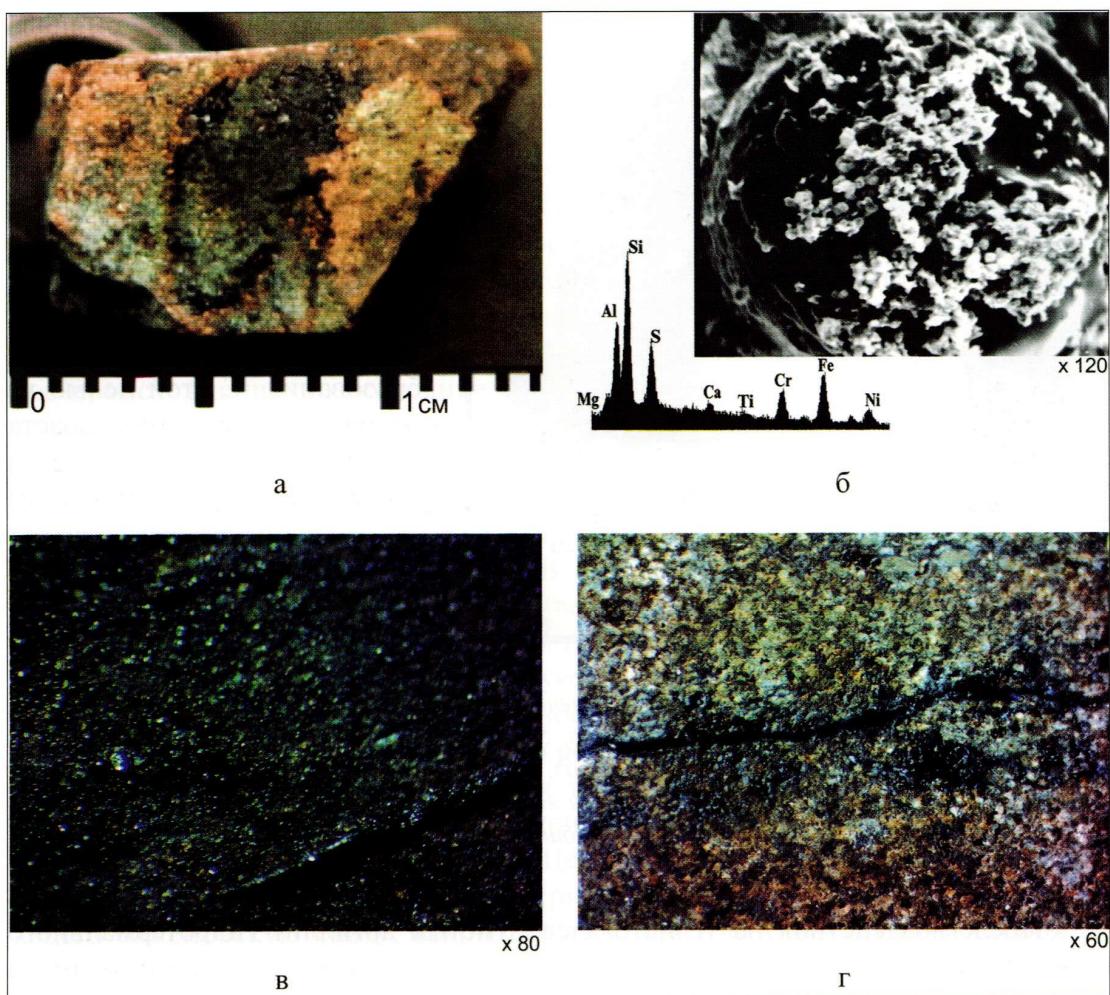
Воздействие гидротермального флюида, имевшего температуру 290 °C, на другой образец углисто-алевритистого аргиллита привело к образованию на его поверхности тонкой плёнки, мелких капелек и «вздутий» битума (рис. 13в). «Вздутия», скорее всего, образовались за счёт исходного растительного детрита, превратившегося в результате термического воздействия на него гидротермального флюида в битум.

Углистой алевролит после воздействия на него гидротермального флюида, имевшего такую же температуру, покрылся тонкими плёнками битумов. Причем в отличие от предыдущего образца, в котором частички растительного детрита «вздулись» в результате гидротермального воздействия на них в рассматриваемом случае на их месте возникли тонкие протяженные каверны, а образовавшиеся за их счёт битумы растеклись рядом с ними (рис. 13г).

Углисто-алевритистый аргиллит, первоначально тёмно-серого цвета, после воздействия на него гидротермального флюида, имевшего температуру 360 °C,

Полученные с помощью метода гомогенизаций микропключений оценки палеотемператур высокоэнталпийных гидротермальных флюидов, позволяют более корректно провести эксперименты по гидротермальному моделированию процессов нефтегенерации и битумообразования. С этой целью из отложений юрского возраста на участках с нормальным геотермическим градиентом (то есть где, скорее всего, в прошлом не было гидротермального воздействия на осадки) были отобраны образцы с достаточно высоким содержанием в них ОВ.

Эксперименты проводились в интервале температур от 275 до 390 °C, при давлении 40 МПа с различной мольной долей углекислоты [16].

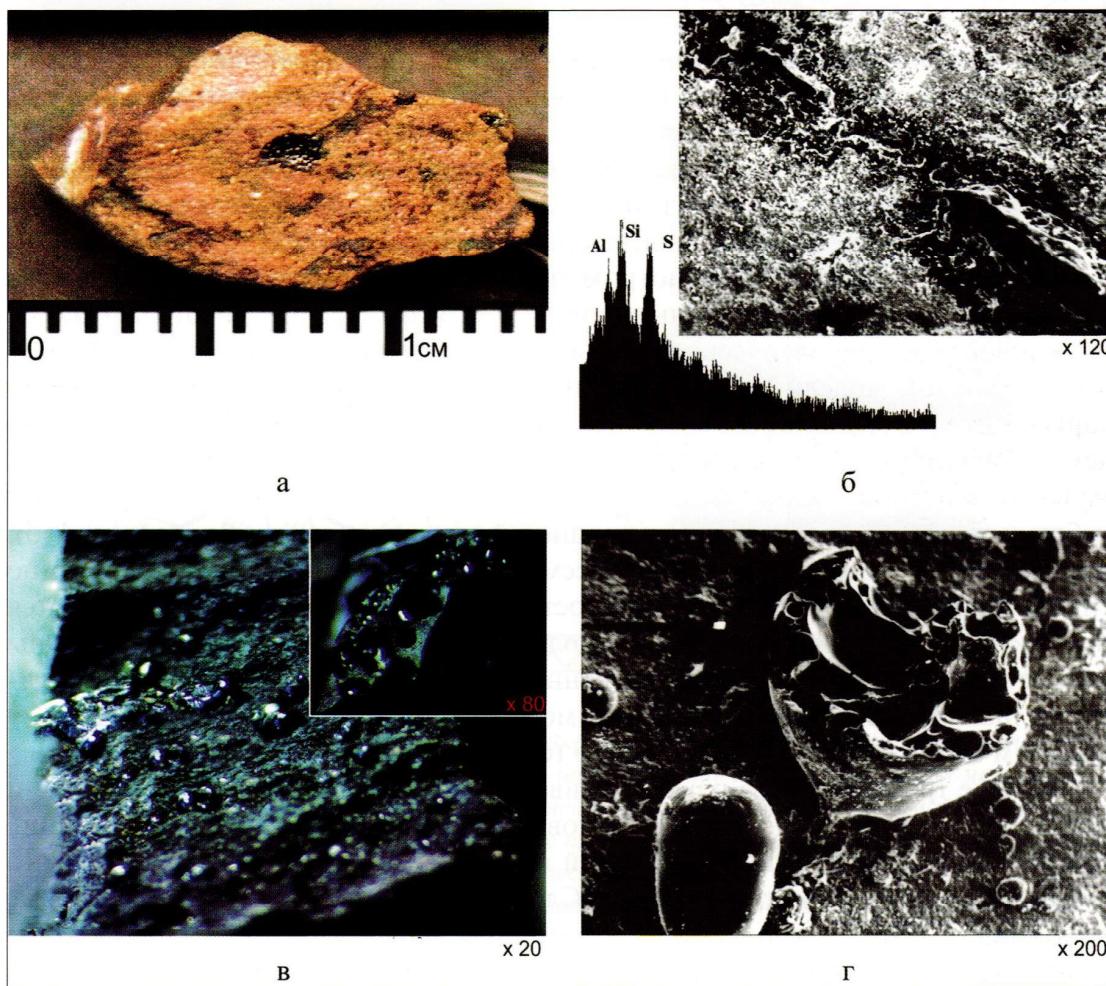


*Рис. 13. Поверхности образцов, отобранных из тюменской свиты, после проведения экспериментов различной продолжительности с гидротермальными растворами, имевшими отличающуюся температуру и состав: а – углисто-алевритистый аргиллит,  $T = 275^{\circ}\text{C}$ , мольная доля углекислоты ( $\chi_{\text{CO}_2}$ ) – 0,04, длительность эксперимента – 19 суток; б – снимок РЭМ капли битума, расположенной на поверхности того же образца и элементный спектр с его площади; в – углисто-алевритистый аргиллит,  $T = 290^{\circ}\text{C}$ ,  $\chi_{\text{CO}_2} = 0,079$ , длительность эксперимента – 10 суток; г – углистый алевролит,  $T = 290^{\circ}\text{C}$ , мольная доля углекислоты  $\chi_{\text{CO}_2} = 0,12$ , длительность эксперимента – 10 суток. Давление во всех экспериментах равно 70 МПа*

приобрёл буровато-розовую окраску, а на его поверхности появились тонкие пленки битумов (рис. 14а). При большом увеличении хорошо видно, что, как и в ранее рассмотренном эксперименте с углистым алевролитом, растительный детрит превратился в полувязкий битум, растекшийся рядом с узкими микрокавернами, образовавшимися за счёт исходного растительного детрита, превратившегося в результате гидротермального термолиза в эти битумы (рис. 14б). Причём на элементном спектре, полученном с поверхности битума, присутствует

высокий пик серы, соответственно этот битум, как и рассмотренные ранее, относится к классу тиобитумов (см. рис. 14б).

В результате самого высокотемпературного ( $390^{\circ}\text{C}$ ) гидротермального воздействия на образец углистого аргиллита вся его поверхность покрылась битумной пленкой, а также многочисленными капельками битумов различного размера (рис. 14в). Внутри этих капелек присутствует большое количество микропустот, образовавшихся вследствие выделения из них газообразных продуктов термодеструкции или аквапиролиза (рис. 14г).



*Рис. 14. Поверхности образцов, отобранных из тюменской свиты, после проведения экспериментов различной продолжительности с гидротермальными растворами, имевшими отличающиеся температуру и состав: а — углисто-алевритистый аргиллит,  $T = 360^{\circ}\text{C}$ , мольная доля углекислоты ( $\chi_{\text{CO}_2}$ ) — 0,006, длительность эксперимента — 6 суток; б — снимок РЭМ и элементный спектр пленки битума на поверхности того же образца; в — углистый аргиллит,  $T = 390^{\circ}\text{C}$ , мольная доля углекислоты  $\chi_{\text{CO}_2}$  — 0,0, длительность эксперимента — 10 суток, на врезке увеличенный фрагмент осколка капли битума с многочисленными полостями от содержащихся в них газообразных продуктов; г — снимок РЭМ поверхности того же образца с каплями битумов, содержащими в себе пустоты от газообразных продуктов акватермолиза исходного ОВ. Давление во всех экспериментах равно 70 МПа*

## Обсуждение полученных результатов

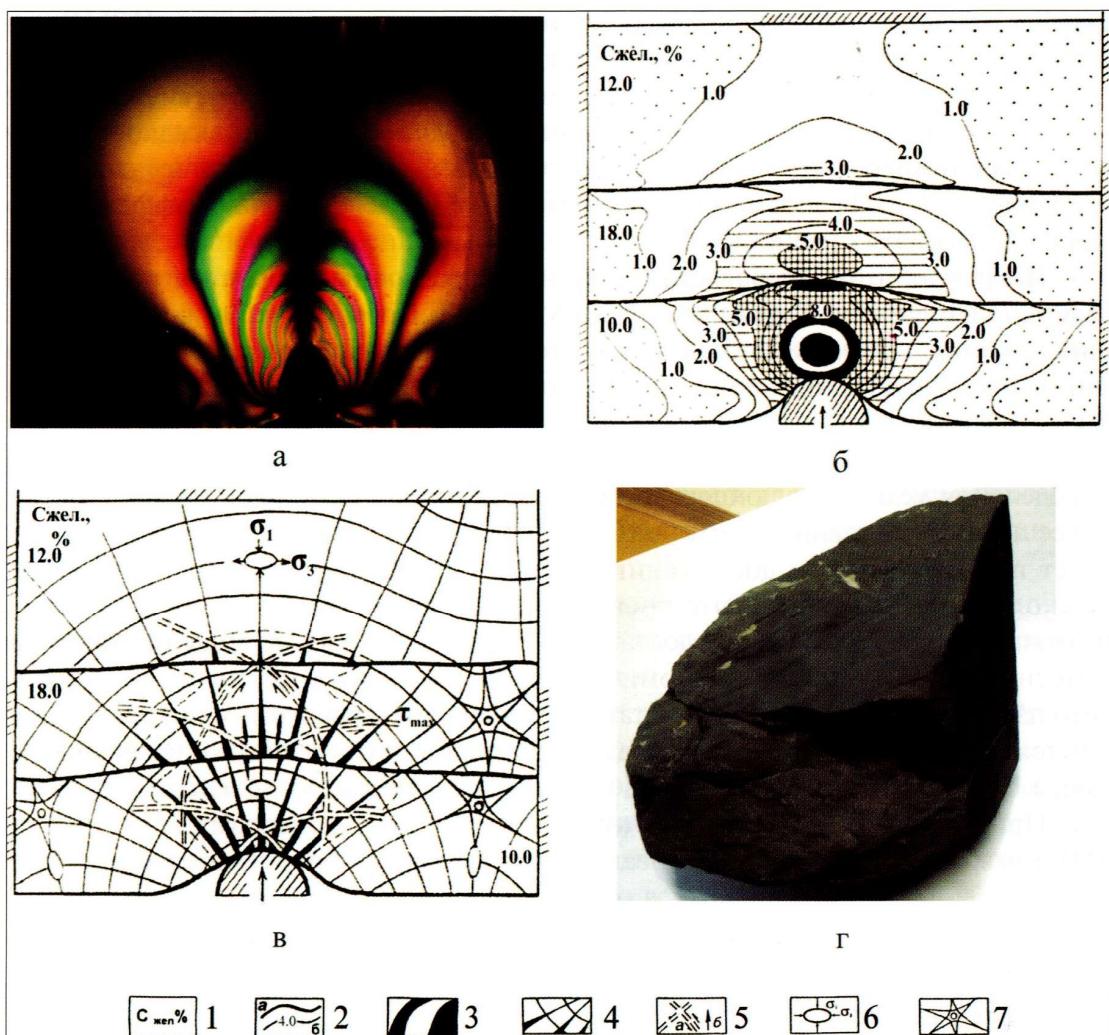
В составе юрских отложений присутствуют в различной степени метаморфизованные битумы (тиобитумы) в ассоциации с разнообразными минералами гидротермального происхождения, следовательно, они образовывались и метаморфизовались под действием высокоэнтальпийных гидротермальных флюидов (рис. 1-9). Этот вывод подтверждается также данными по определению температуры гомогенизации газово-жидких включений (рис. 12) и проведёнными экспериментами с различными типами пород, богатых ОВ с использованием гидротермальных растворов, имевших различную температуру и состав (рис. 13, 14).

Формирование гидротермальных флюидов связывается с проникновением в земную кору магматических тел из астеносферы, над которыми возникают напряжения и в случае превышения этих напряжений прочности вышележащих пород формируются зоны тектонической трещиноватости, по которым устремляются вверх выделившиеся из этих магматических тел (вследствие падения окружающего давления) высокоэнтальпийные флюиды [14, 15].

В качестве примера рассмотрим простейшую оптико-поляризационную модель с растущим симметричным поднятием, имитирующими поднимающееся из астеносферы магматическое тело антиклинальной формы (рис. 15а). Возникшая в этой модели над этим антиклинальным блоком изохроматическая картина отражает распределение касательных напряжений в коре и осадочном чехле. Расшифровка полученной картины свидетельствует о том, что максимальные значения касательных ( $\tau_{\max}$ ), а значит и нормальных ( $\sigma_1$ ) напряжений наблюдается непосредственно над вершиной антиклинального блока (рис. 15б). Анализируя направления изоклин в рассматриваемой оптической модели, можно спрогнозировать ориентацию и плотность трещин отрыва, которые образуются над таким поднятием (рис. 15в). Из полученной модели следует, что трещины отрыва ориентируются преимущественно субвертикально над вершиной поднятия, наклоняясь вправо и влево по мере их опускания по правому и левому крыльям антиклинали к её основанию (см. рис. 15в).

Кроме трещин отрыва в рассматриваемой модели прогнозируются также и сколово-сдвиговые дислокации, обусловленные касательными напряжениями.

Примеры обоих типов дислокаций присутствуют в образце нижнеюрского глинистого микрокварцита (рис. 15г). Следует отметить, что сколово-сдвиговые деформации в рассматриваемом образце проявились в форме «зеркал» и поверхностей скольжения, ориентированных приблизительно под 50-55 градусов к оси керна. Причём на поверхностях этих дислокаций отсутствуют метаморфизованные битумы. Иными словами, эти деформации происходили или до начала фильтрации флюидов, содержащих в своём составе битумы, либо они были непроницаемы из-за крайне плотной притёртости скользящих друг по другу противоположных поверхностей. Напротив, поверхность трещин отрыва, возникших в рассматриваемом образце под действием нормальных напряжений, имеющих субвертикальную, то есть параллельную оси керна ориентацию, покрылась тонкой плёнкой метаморфизованных битумов, имеющих твёрдохрупкую консистенцию (рис. 15г). Следовательно, высокоэнтальпийные флюиды, содержащие в своём составе битумы, перемещались по субвертикальным трещинам



*Рис. 15. Распределение изохром в оптико-поляризационной модели после роста симметричного антиклинального блока (а), интерпретация полученной изохроматической картины с распределением возникших в ней напряжений (б) и прогнозом двух типов трещинных дислокаций, представленных трещинами отрыва и сколово-сдвиговыми дислокациями (в), а также образец нижнеюрского возраста с обоими типами дислокаций, одна из которых заполнена метаморфизованным битумом черного цвета (г). Условные обозначения: 1 – концентрация желатина; 2: а – границы между желатиновыми слоями, б – изохромы (уровни касательных напряжений); 3 – максимальные значения изохром (более 8); 4 – траектории нормальных напряжений ( $\sigma_n$ ), их уширения – прогнозируемые трещины; 5: а – траектории касательных напряжений ( $\tau_{max}$ ), б – направление движения антиклинальных блоков; 6 – эллипсоид деформации; 7 – изотропная точка*

отрыва, а сколово-сдвиговые дислокации, проявившиеся в виде поверхностей и «зеркал» скольжения, не являлись проводниками этих флюидов.

Движение флюидов в фундаменте и особенно в осадочном чехле над магматическими телами осуществлялось не только благодаря возникшим над этими телами зонам субвертикальной трещиноватости, но и из-за многочисленных

флюидоразрывов, возникших вследствие термического расширения поровой воды, присущей как в породах фундамента, так и в осадочном чехле.

Рассмотрим механизм формирования гидроразрыва в осадочном чехле. Для этого примем следующие исходные условия. Глубина залегания осадков 2,5 км, пластовая температура – 80 °С, поровое давление 25 МПа, литостатическое давление – 56 МПа, пористость породы – 15 %. Следовательно, эффективное давление в осадках равно 31 МПа.

По результатам определения прочности осадочных пород на разрыв эта величина изменяется в пределах 0,3–1,0 МПа [19]. Поэтому, чтобы возникла трещина отрыва, необходимо создать избыточное давление около 32 МПа. Однако эти оценки справедливы для условий, когда рассматриваемая система является закрытой и флюиды не имеют возможности мигрировать. В природе же практически все системы являются открытыми, поэтому для проведения расчётов определения условий флюидоразрыва в обсуждаемой осадочной толще примем более жесткие условия, а именно: будем считать, что флюидоразрыв в осадках будет происходить при достижении поровым давлением величины в 60 МПа. Поскольку предполагается, что проникновение высокоэнталпийного флюида в осадочную толщу происходит достаточно быстро, то поровые воды не успевают вытесняться и вследствие их термического расширения происходит рост порового давления. При этом в результате термического расширения поровых вод и происходящего флюидоразрыва осадков их пористость увеличивается в зависимости от температуры проникшего в них гидротермального флюида (рис. 16).

При таких исходных условиях (включая давление флюидоразрыва, равное 60 МПа) разрыв водонасыщенных осадков произойдет уже при температуре около

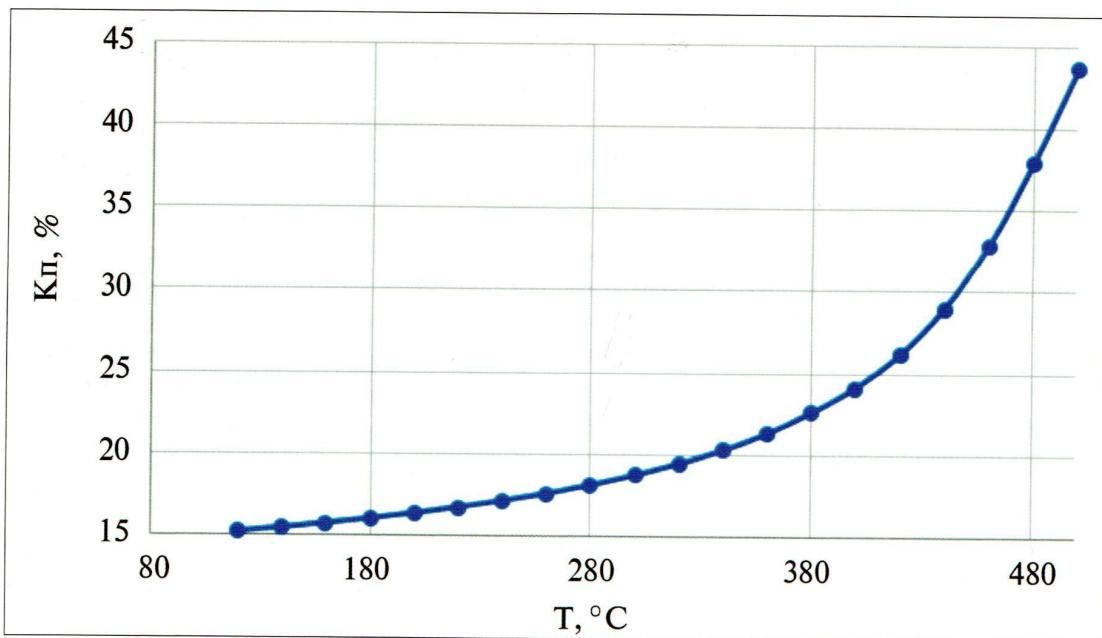


Рис. 16. Зависимость величины пористости осадочных пород от температуры гидротермального флюида, внедрившегося в их поровое пространство (пояснения в тексте)

120 °C [24], а объём порового пространства рассматриваемых пород увеличится на 0,18 % и составит, соответственно, 15,18 % (рис. 16). С ростом температуры гидротермального флюида пористость рассматриваемых осадков будет увеличиваться и, например, при 330 °C составит около 20 %. С дальнейшим ростом температуры флюида пористость будет быстро расти и при температуре 500 °C составит почти 45 % [24], то есть увеличится почти в 3 раза! Таким образом, осадки в месте проникновения высокоэнтальпийного гидротермального флюида будут представлять собой своеобразный «кипящий слой», в котором обломочные зёрна будут со всех сторон окружены этим высокоэнтальпийным флюидом. В этом состоянии осадки будут обладать чрезвычайно высокой проницаемостью.

Однако проведенные оценки справедливы для достаточно высоких температур. По данным определения температур гомогенизации газово-жидких включений, выполненных Ю.В. Щепеткиным, палеотемпературы, вероятнее всего, могли достигать 260-330 °C [26]. Поэтому пористость рассматриваемых осадков могла увеличиваться примерно до 20 %, что также в значительной степени увеличивало их проницаемость.

Здесь следует отметить, что мы не учитывали объём высокоэнтальпийного флюида, поступавшего в осадочную толщу, поэтому на самом деле вторичная пористость может оказаться выше полученной при оценочном расчёте.

Исходя из вышесказанного, можно заключить, что в момент тектоно-гидротермального воздействия, вызванного подъёмом магматического тела и выделением из него высокоэнтальпийных флюидов, осадочный чехол на короткое время становился проницаемым, включая и глинистые разновидности пород. Если трещиноватая зона разуплотнения, образовавшаяся над таким магматическим телом, имела достаточную протяженность по вертикали, то она могла выйти на земную поверхность, а поднимающиеся по ней нафтиды могли сформировать на ней поверхностные залежи, состоящие из потерявшей лёгкие УВ фракции нефти и в той или иной степени метаморфизованных битумов.

В составе высокоэнтальпийных флюидов, отделяющихся от магматического тела, кроме воды, углекислого газа, кислых и других компонентов обязательно присутствуют молекулярный водород и метан с его ближайшими гомологами. В результате термодеструкции исходного ОВ под действием этих высокоэнтальпийных флюидов образуется большое количество ненасыщенных углеводородных соединений, которые будут энергично реагировать с водородом и метаном, в результате чего будут образовываться дополнительные, более богатые водородом, по сравнению с исходными, соединения.

На вхождение ювенильного метана в состав образующихся нафтидов указывает тот факт, что самые богатые водородом, а значит и обладающие максимальным нефтегенерационным потенциалом органические соединения, представленные липидами, содержат в своём составе тяжелый изотоп углерода в количестве от -22 до -28 %. А битумоиды, извлеченные из образцов баженовской свиты Салымского месторождения, имеют изотопный состав углерода, варьирующий от -30,2 до -30,5 % (табл. 1). То есть салымские битумоиды гораздо богаче липидов лёгким изотопом углерода. Единственным соединением, обладающим самым высоким содержанием лёгкого изотопа углерода в своём составе, является метан. Поэтому наряду с липидами и другими органическими соединениями, входящими в состав исходного ОВ, в процессе образования из него нефти и

битумов обязательно принимал участие ювенильный метан, выделявшийся из магматического тела в процессе его подъёма из астеносферы и последующего его охлаждения и кристаллизации [17].

Таблица 1  
Изотопный состав углерода в составе битумоидов, извлеченных из отложений баженовской свиты Верхне-Салымского месторождения (по [17] с добавлениями)

| № образца                   | Глубина отбора, м | $\delta^{13}\text{C}$ , ‰ |
|-----------------------------|-------------------|---------------------------|
| 1                           | 2961,0            | -30,2                     |
| 2                           | 2963,0            | -30,2                     |
| 3                           | 2966,0            | -30,5                     |
| 4                           | 2970,0            | -30,6                     |
| 5                           | 2975,0            | -30,3                     |
| 6                           | 2987,0            | -30,5                     |
| Среднее                     | -                 | -30,4                     |
| Липиды (Э.М. Галимов, 1968) |                   | от -22 до -28             |

Таким образом, высокоэнтальпийные флюиды, выделяющиеся из магматических тел, непосредственно участвуют в процессе нефтегенерации. По возникающим над этими телами трещиноватым зонам, а также благодаря процессам флюидоразрыва порового пространства перекрывающих эти тела пород, они энергично мигрируют вверх по разрезу, заполняя породы-коллекторы первонациально гомогенной углеводородо-водной фазой. Затем по мере её охлаждения она разделяется на две (вода-нефть) или три (вода-нефть-газ) фазы и формируется углеводородная залежь. Таким образом решаются проблемы с относительной фазовой проницаемостью нефти, газа и воды при их совместной фильтрации, а также с отрицательным влиянием на миграцию нефти эффекта Жамена при так называемых «первичной» и «вторичной» миграциях углеводородов в водонасыщенных осадках, особенно в их низкопроницаемых глинисто-алевритистых разновидностях.

Рассмотрим более подробно результаты пиролитических исследований и экспериментов по гидротермальному моделированию.

Обращает на себя внимание совпадение интервала температур, при которых происходит образование битумов с сохранившимися в них полостями от выделившихся газообразных продуктов термодеструкции исходного ОВ (рис. 13, 14) и пика  $S_1$ , расположенного в том же температурном интервале (рис. 10, 11). Исходя из этого факта логично предположить, что при пиролитических исследованиях образцов со слабо термически преобразованным исходным ОВ, выделяющиеся из него при температуре около 250-300 °С летучие формируют низкотемпературный пик  $S_1$ . В результате протекания этого процесса исходное ОВ превращается в битум. Высокотемпературный пик  $S_2$  соответствует процессу термического разложения, образовавшегося ранее (при температуре 250-300 °С), битума. Этот процесс аналогичен коксованию нефтепродуктов и углей, который проводится на производственных установках в том же температурном интервале, составляющем 450-480 °С.

Поэтому на пирограммах уже образовавшегося при природном акватермализе битума пик  $S_1$  либо полностью отсутствует, либо имеет очень маленькую амплитуду и представлен выделяющимися при нагреве битумов углеводородами, находящимися в его составе в форме «твёрдых» растворов (рис. 9а, б, рис. 10г, рис. 11в, г) [10, 11].

На пирограммах образцов, в поровом пространстве которых присутствуют аллотигенные и/или параавтохтонные нафтиды, пик  $S_1$  соответствует испаряющимся низко- и среднемолекулярным УВ. Пик  $S_2^0$  соответствует испарению и термолизу более высокомолекулярных УВ и, возможно, частично смол бензольного типа, и низкомолекулярных асфальтенов. Собственно сам пик  $S_2$ , присутствующий на пирограммах таких образцов, отражает процесс термического разложения асфальтомолистых компонентов, слагающих битум, с образованием из них кокса, который остается после завершения этого процесса.

Чем выше была температура у высокоэнталпийного гидротермального флюида, тем интенсивнее происходило термическое преобразование битумов в юрских отложениях, что выражалось в более значительной полимеризации и конденсации ароматических колец, входящих в их состав, поэтому для превращения их в кокс требовалась все более высокая температура ( $T_{\max}$ ). Именно поэтому по величине этого параметра можно оценить степень катагенеза или вернее термического преобразования исходного ОВ.

При этом не следует забывать, что пик  $S_2$  соответствует не некоему термолизу мифического керогена и, соответственно, его остаточному нефтегенерационному потенциалу, а процессу коксования уже образовавшихся ранее в температурном интервале 250-300 °С (пик  $S_1$ ) битумов и гетеросоединений, из которых они (битумы) главным образом и состоят. Собственно, величина самого пика  $S_2$  соответствует количеству летучих УВ, выделяющихся в процессе коксования битума и гетеросоединений, входящих в его состав.

## Выводы

1. В осадочном разрезе ЗСБ в осадках, имеющих возраст от нижней до верхней юры встречены битумы, обладающие различной консистенцией – от вязкопластичной до твёрдохрупкой.
2. Тесная ассоциация битумов с кристаллами разнообразных минералов, имеющих явно гидротермальное происхождение, свидетельствует о том, что они образовались из исходного ОВ в результате его взаимодействия с высокоэнталпийными гидротермальными флюидами, имевшими по результатам определения температуры гомогенизации газово-жидких включений, температуру порядка 260-330 °С, а возможно и выше.
3. Совпадение температурного интервала превращения исходного ОВ в битумы (по результатам гидротермального моделирования) с таковым, при котором на пирограммах наблюдается пик  $S_1$ , позволяет заключить, что этот пик возникает в процессе превращения исходного ОВ в битумы, в результате которого выделяются летучие УВ, формирующие этот пик.
4. На пирограммах битумов, испытавших высокотемпературный термолиз под действием гидротермальных флюидов, пик  $S_1$  часто отсутствует, либо имеет

очень маленькую амплитуду и фиксирует процесс испарения УВ, находящихся в составе битумов в форме «твёрдых» растворов.

5. В участках, где в осадочный чехол ЗСБ происходило внедрение высокоэнталпийных гидротермальных флюидов, исходное ОВ превратилось в битумы, а отложения баженовской свиты, соответственно, стали битуминозными.

6. Гидротермальные флюиды активно участвовали в генерации нафтидов, их миграции и формировании УВ залежей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Астахов С.М. Геореактор. Алгоритмы нефтегазообразования. – Ростов-на-Дону: Контики, 2015. – 256 с.
2. Богоявленская Л.И., Конторович А.Э., Ларичев А.И. Кероген. Методы изучения, geoхимическая интерпретация. – Новосибирск.: Изд-во СО РАН, Филиал «Гео», 2005. – 254 с.
3. Вассоевич Н.Б. Теория осадочно-миграционного происхождения нефти (исторический обзор и современное состояние) / Изв. АН СССР. Сер. геологич., 1967. – №11. – С. 37-142.
4. Вассоевич Н.Б., Трофимук А.А., Конторович А.Э., Неручев С.Г. Новые исследования в области диагностики нефтепроизводящих отложений и оценки прогнозных запасов нефти и газа объёмно-генетическим методом / Геология и разведка нефтяных и газовых месторождений. – М.: Недра, 1970. – С. 61-81.
5. Волков В.А., Олейник Е.В., Оксенайд Е.Е., Соловаина Л.А. К вопросу о типе органического вещества пород баженовской свиты // Вестник недропользователя, 2016. – № 28. – С. 3-18.
6. Галушкин Ю.И. Моделирование осадочных бассейнов и оценка их нефтеносности. – М.: Научный мир, 2007. – 456 с.
7. Геологический словарь. – М.: Недра, 1973. – Т.1. – 486 с.
8. Гончаров И.В., Харин В.С. Использование пиролиза в инертной атмосфере при исследовании органического вещества / Проблемы нефти и газа Тюмень. – Тюмень, 1982. – С. 8-10.
9. Гончаров И.В., Самойленко В.В., Обласов Н.В., Фадеев С.В., Веклич М.А., Карапов Р.С., Трушков П.В., Бахтина Е.С. Типы и катагенез органического вещества баженовской свиты и ее возрастных аналогов // Нефтяное хозяйство, 2016. – №10. – С. 20-25.
10. Зубков М.Ю., Потапов А.Г. Спектры ЯМР пород бажено-абалакского комплекса Западной Сибири // «Каротажник». НТВ АИС, 2014. – Вып. 8 (242). – С. 3-32.
11. Зубков М.Ю., Потапов А.Г. «Твёрдые растворы» углеводородов в составе битумов баженовской свиты и экстрактов, установленные по данным ядерно-магнитного резонанса // «Каротажник». НТВ АИС, 2015. – Вып. 9 (255). – С. 3-13.
12. Зубков М.Ю. Коллекторы в бажено-абалакском комплексе Западной Сибири и способы их прогноза // Геология нефти и газа, 2014. – №5. – С. 58-72.
13. Зубков М.Ю. Оценка региональных и локальных перспектив нефтеносности баженовской и абалакской свит Западной Сибири // Геология и минерально-сыревые ресурсы Сибири, 2016. – №3. – С. 51-67.
14. Зубков М.Ю. Тектоно-гидротермальные процессы в юрских отложениях Западной Сибири // Геология нефти и газа, 2017. – №1. – С. 60-76.
15. Зубков М.Ю. Тектоно-гидротермальные процессы в меловых отложениях Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна // Горные ведомости, 2018. – №1 (155). – С. 10-31.

16. Зубков М.Ю., Шведенков Г.Ю. Экспериментальное моделирование процесса формирования вторичных коллекторов под действием гидротермальных флюидов различного состава // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО / Материалы V научно-практической конференции). – Ханты-Мансийск, 2002. – Т. I. – С. 323-332.
17. Зубков М.Ю. Минеральный состав и значение  $\delta^{13}\text{C}$  в трещиноватых карбонатных породах бажено-абалакского комплекса Западной Сибири // Геология нефти и газа, 2017.– №6. – С. 67-81.
18. Конторович А.Э., Меленевский В.Н., Фомичев А.С., Шведенков Г.Ю. Пиролиз как метод изучения нефтегазогенерационного потенциала материнских пород // Геология нефти и газа, 1986. – №12. – С. 36-41.
19. Коршунов В.А., Карташов Ю.М. Новый способ определения прочности при растяжении горных пород / Записки Горного института, 2011. – Т. 190. – С. 202-206.
20. Лопатин Н.В., Емец Т.П. Пиролиз в нефтегазовой геохимии. – М.: Наука, 1987.– 144 с.
21. Методические рекомендации по применению пиролитического метода в органической геохимии / Сост. В.Н. Меленевский. Научн. ред. А.Э. Конторович. – Новосибирск.: СНИИГГиМС, 1985. – 42 с.
22. Неручев С.Г. Нефтепроизводящие свиты и миграция нефти. – Л.: Недра, 1969. – 240 с.
23. Справочник по геохимии нефти и газа / Под ред. Неручева С.Г.– СПб.: Недра, 1998. – 576 с.
24. Справочник физических констант горных пород / Под ред. С. Кларка мл. – М.: Мир, 1969. – 544 с.
25. Тиссо Б., Вельте Д. Образование и распространение нефти. – М.: Мир, 1981. – 502 с.
26. Шепеткин Ю.В., Рыльков А.В. Реконструкция энергетических преобразований природной геохимической системы порода-ОВ-вода-нефть (газ) на основе детальных исследований скоплений углеводородов / Энергия и механизм первичной миграции углеводородов. – М.: Наука, 1988. – С. 66-72.