

РЕГИОНАЛЬНЫЙ И ЛОКАЛЬНЫЙ ПРОГНОЗЫ НЕФТЕНОСНОСТИ БАЖЕНОВСКОЙ И АБАЛАКСКОЙ СВИТ (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)

М. Ю. Зубков

ООО «ЗапСибГЦ», г. Тюмень, ZubkovMYu@mail.ru

АННОТАЦИЯ

В статье обоснованы критерии для осуществления регионального прогноза отложений баженовской свиты, на основании которых выполнен региональный прогноз ее нефтеносности. Рассмотрены условия накопления кремнистых и карбонатных отложений в баженовской и абалакской свитах и механизм образования в них трещинных и трещинно-кавернозных коллекторов. На основе комплексирования данных сейсморазведки и тектонофизического моделирования предложен способ проведения локального прогноза нефтеносности баженовской и абалакской свит, которые предлагается объединить в единый бажено-абалакский комплекс.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Баженовская и абалакская свиты, региональные и локальные перспективы нефтеносности, потенциально продуктивные отложения, биогенное, аутигенное осадконакопление.

REGIONAL AND LOCAL PREDICTION OF OIL AND GAS OCCURRENCE FOR BAZHENOV AND ABALAK FORMATIONS IN THE WESTERN SIBERIA

M.Yu. Zubkov

ZapSibGC, LLC, Tyumen, ZubkovMYu@mail.ru

ABSTRACT

The article substantiates criteria for regional forecast of Bazhenov formation deposits providing the basis for prediction of the regional oil presence. Siliceous and carbonate deposition environment and mechanism of naturally fractured and fissured-cavernous reservoirs development in Bazhenov and Abalak formations examined. On the basis of integration of seismic, tectonic and physical modeling data from Bazhenov and Abalak formations (that are proposed to incorporate into common Bazhenov-Abalak sequence), the method of oil content forecasting is suggested.

KEY WORDS

Bazhenov and Abalak formations, regional and local oil content prospects, potentially productive deposits, biogenic and authigenic deposition.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время среди исследователей вновь отмечается бурный интерес к отложениям баженовской свиты. Это выражается в большом количестве публикаций, посвященных следующим аспектам баженовской свиты:

- особенностям ее вещественного состава;
- палеофаunalным условиям, в которых она накапливалась;
- реконструкциям формирования в ней коллекторов;
- нефтегенерационным и петрофизическим ее свойствам;
- выделению основных литологических типов, входящих в ее состав;
- оценке геологических запасов УВ, содержащихся в ней;
- использованию данных ГИС для выделения различных литологических типов в ее разрезе, включая породы-коллекторы;
- применению результатов сейсморазведки для выделения перспективных УВ залежей для поисков в ней.

К сожалению, подавляющее большинство этих «свежих» публикаций являются поверхностными, слабо аргументированными, а иногда даже амбициозными. В них отсутствуют результаты глубокого анализа содержания работ, опубликованных ранее «классиками» баженовской тематики, а потому новые публикации эклектичны, в них очень часто присутствуют «открытия», о которых было известно 30 и более лет тому назад. Перечень цитируемых литературных источников в публикациях этих «новых баженоведов» редко превышает 5–10 наименований, что подтверждает сказанное выше, поэтому в настоящей работе в библиографии эти публикации не упоминаются, так как не содержат принципиально новой информации.

Вместе с тем приводится достаточно обширный список работ исследователей, стоявших у истоков баженовской проблематики, в частности касающейся оценки перспектив нефтеносности рассматриваемых отложений. Самые первые результаты исследований отложений баженовской свиты, не утратившие своей важности до настоящего времени, были получены и опубликованы следующими коллективами авторов:

- Главтюменьгеологии (Ф. К. Салманов, Г. Р. Новиков, А. В. Тян);
- ИГиГ СО АН СССР (В. А. Трофимук, А. Э. Конторович, Ю. Н. Карагодин, В. А. Захаров, В. Н. Сакс и др.);
- СНИИГиМС (Ф. Г. Гураи, В. Н. Меленевский, Э. Я. Вайц, В. И. Москвин, Г. Н. Перозио,

Е. А. Предтеченская, Д. И. Рудницкая, О. Ф. Стасова и др.);

— ЗапСибНИГИ (И. И. Нестеров, И. Н. Ушатинский, О. Ф. Григорьева, А. В. Рыльков, О. Г. Зарипов, В. И. Белкин, Ф. Я. Боркун и др., трое последних продолжили затем свои исследования битуминоznых отложений в СибНИИНП);

— ЗапСибНИИГеофизики (В. В. Хабаров, О. В. Барташевич, Е. Н. Волков, О. М. Нелепченко, В. Х. Ахияров, С. В. Ампенов и др.);

— СибНИИНП (В. П. Сонич, К. С. Юсупов, М. Ю. Зубков, В. В. Мормышев, М. И. Сосландин и др.);

— ВНИИнефти (А. Я. Фурсов, А. А. Степанов, В. А. Терещенко и др.);

— ВНИГРИ (С. Г. Неручев, Т. В. Дорофеева, Б. А. Лебедев, Е. А. Рогозина, С. Г. Краснов и др.);

— МИНХиГП (В. М. Добрынин, В. Г. Мартынов);

— ИГИРГИ (Н. А. Крылов, В. Е. Орел, С. И. Филина, М. В. Корж, М. С. Зонн и др.);

— ВНИИГАЗ (В. А. Скоробогатов) и многие другие.

В настоящей публикации демонстрируются накопленные с 1970-х до начала 1990-х гг. старые «классические» представления о критериях нефтеносности отложений баженовской свиты (дополненные современными данными), которые были использованы в настоящей публикации для регионального прогноза нефтеносности свиты. Более новые сведения, полученные автором настоящей публикации и другими исследователями в 1990–2015 гг., в комплексе с оригинальной методикой (на основе комплексирования данных сейсморазведки и тектонофизического моделирования) использованы для осуществления локального прогноза нефтеносности свиты. Причем поскольку, как будет показано ниже, механизм формирования вторичных коллекторов и в баженовской, и в абалакской свитах одинаков, то локальный прогноз осуществляется для обеих свит одновременно. По этой причине при поисках в них углеводородных залежей автором настоящей публикации было предложено объединить их в один бажено-абалакский комплекс [12, 13, 16].

РЕГИОНАЛЬНЫЙ ПРОГНОЗ НЕФТЕНОСНОСТИ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ

Региональный прогноз нефтеносности отложений баженовской свиты осуществлялся с использованием главным образом результатов ее испытаний, а также с учетом существовавших представлений о механизме формирования в ней коллектора [1, 3–5, 9, 12, 16, 19, 22–24].

Поскольку источником УВ считался кероген, входящий в состав свиты, то, исходя из модели,

предложенной Ф. Г. Гуарари, формирования в ней листоватого коллектора в результате флюидо-разрыва тонкослоистых отложений генерируемыми керогеном нафтидами в них, возникали аномально высокие пластовые давления (АВПД). С учетом этой модели образования листоватого коллектора логично было предложить следующие критерии для оценки региональных перспектив нефтеносности свиты.

Толщина баженовской свиты. Действительно, исходя из предложенной модели следует, что чем толще отложения свиты, тем больше ими при прочих равных условиях генерируется УВ, а следовательно, выше их перспективность [1, 3–5, 9, 12, 16, 19, 22–24]. По данным результатов испытаний битуминозных отложений, из которых получены притоки нефти, их минимальная мощность около 20 м (Мултановское месторождение), поэтому эта величина была принята в качестве первого критерия при оценке перспектив нефтеносности свиты (рис. 1а).

Анализ изменения толщины баженовской свиты в пределах Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции показал, что если принять 20 м в качестве ее граничного значения, то основная площадь ее распространения является перспективной по этому признаку. Исключение составляют несколько локальных участков в центральной и северной частях Сургутского свода, южной и северной частях Нижневартовского свода, а также на ряде участков в центральной, южной и юго-восточной частях плиты (рис. 1а). Эти участки, скорее всего, являлись какое-то время островами в волжском море, и по этой причине на них в этот период не накапливались осадки баженовской свиты.

Содержание органического вещества. Из общих представлений о генерации УВ следует, что чем выше концентрация ОВ (керогена) в отложениях баженовской свиты, тем больше (при прочих равных условиях) образуется нафтидов и, соответственно, выше перспективы нефтеносности отложений на этих участках [1, 3–6, 9, 12, 16, 19, 22–24]. Из результатов опробования рассматриваемых отложений следует, что притоки нефти были получены из осадков, среднее содержание ОВ в которых было не менее 10 % [1, 3–5, 9, 12, 16, 19, 22–24], поэтому эта величина концентрации ОВ была принята в качестве критической. Исходя из этого значения содержания ОВ можно заключить, что на большей части Западно-Сибирской плиты содержание ОВ превышает величину содержания ОВ, принятую в качестве критической (рис. 1б). Исключением являются главным образом периферийные и северные части плиты, где концен-

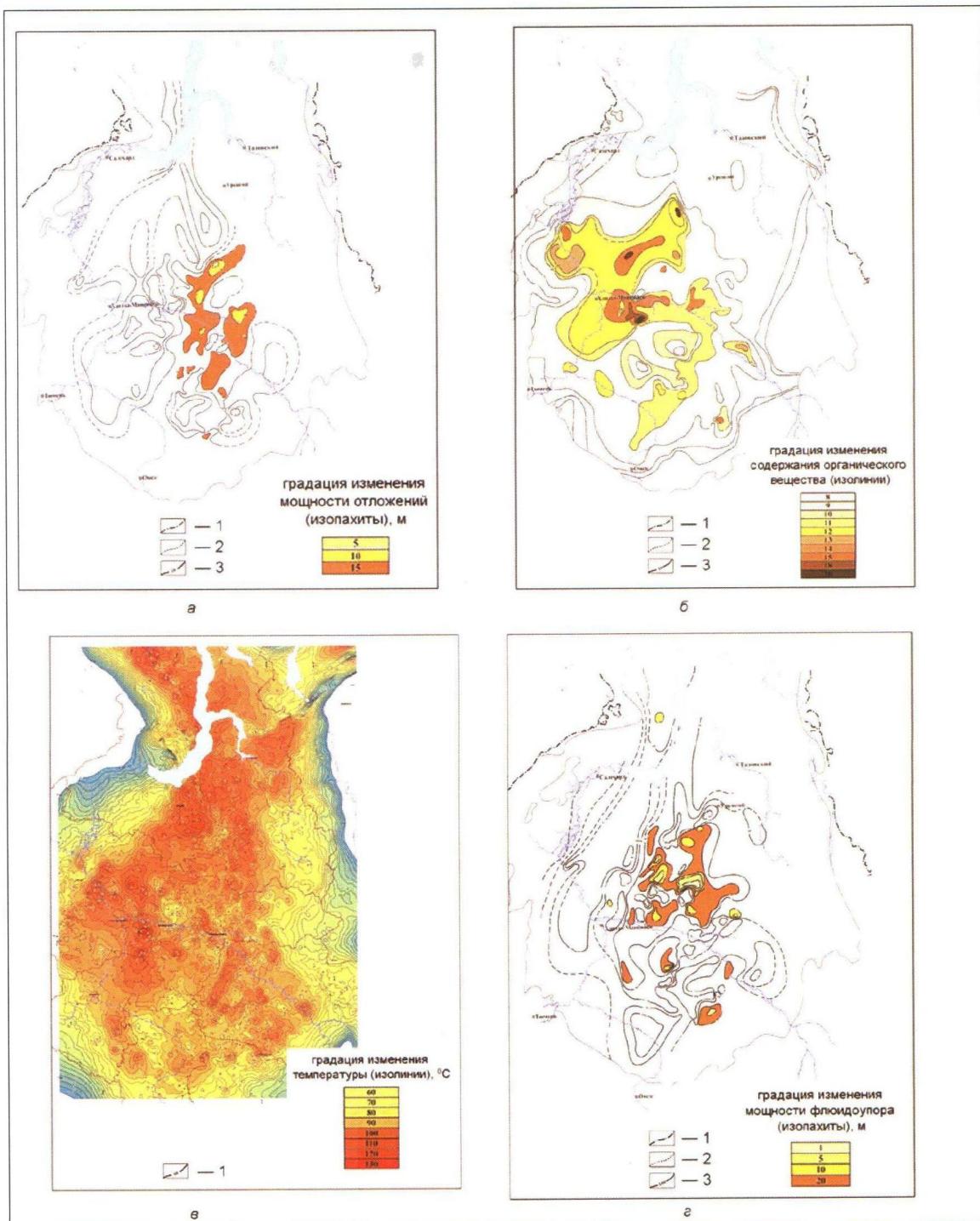
трация ОВ в свите является невысокой из-за разбавления ее отложений терригенными осадками, поступавшими в волжское море с окружающего его континента. Кроме того, значительное снижение концентрации ОВ в составе свиты наблюдается в пределах высокотемпературных участков Салымского месторождения и некоторых площадей Красноленинского района, где происходила интенсивная генерация УВ за счет термодеструкции исходного ОВ [6, 8].

Температура по кровле баженовской свиты. Следующим критерием, часто используемым при характеристике региональных перспектив нефтеносности баженовской свиты, является величина ее пластовой температуры (Тпл) [1, 2–6, 8, 9, 12, 15, 16, 18, 19, 22–24]. Большинство исследователей, занимавшихся прогнозом ее нефтеносности, в качестве критической величины Тпл принимают 100 °С и выше [1, 3–5, 9, 12, 16, 19, 22–24]. Основная часть территории, оконтуриваемая изотермой 100 °С, находится в западной и северной частях плиты (рис. 1в). Ряд локальных участков, в пределах которых Тпл в кровле баженовской свиты достигает 100 °С, расположены в центральной части Нижневартовского свода, Александровского мегавала, в северной части Парабельского мегавала и Северовасюганском мегавале (см. рис. 1в).

Мощность флюидоупоров, перекрывающих и подстилающих баженовскую свиту. Степень изоляции отложений баженовской свиты от подстилающих и перекрывающих ее пород-коллекторов также является важным параметром. Большинство авторов принимают критическую мощность подстилающих и перекрывающих флюидоупоров равной не менее 10 м, основываясь на результатах геохимических исследований [1, 3–5, 9, 12, 16, 19, 22–24].

С учетом этого значения отложения свиты сверху достаточно надежно изолированы от ближайших к ней песчано-алевритовых отложений (рис. 1г). Выделяются лишь небольшие участки, в пределах которых толщина флюидоупоров не превышает 5–10 м. Несколько таких участков известны в центральной и северной частях Сургутского свода, северной половине Нижневартовского свода, на Александровском мегавале, Каймысовском своде и некоторых других территориях (см. рис. 1г). Нередко эти участки территориально совпадают с таковыми, в пределах которых отмечается уменьшение мощности отложений и самой свиты (см. рис. 1а и 1г).

Снизу отложения баженовской свиты изолированы гораздо хуже, чем сверху. По этому критерию практически вся центральная и юго-восточная часть Западно-Сибирской плиты является

**Условные обозначения:**

- а: 1 – граница палеозойского обрамления, 2 – границы распространения отложений Волжско-берриасского Возраста, 3 – изопахиты отложений баженовской свиты, м;
- б: 1 – граница палеозойского обрамления, 2 – границы распространения отложений Волжско-берриасского Возраста, 3 – изолинии содержания ОВ;
- в: 1 – изолинии температуры, °С;
- г: 1 – граница палеозойского обрамления, 2 – границы распространения отложений Волжско-берриасского Возраста, 3 – изопахиты флюидоупора, м.

Рис. 1. Критерии, используемые для оценки региональных перспектив отложений баженовской свиты: а – мощность отложений свиты (по Зубкову М.Ю., 1984); б – содержание органического вещества (по Конторовичу А.Э. и Фомичеву А.С., 1982); в – пластовая температура по кровле свиты (по Курчикову А.Р., Плавнику А.Г., 2015); г – толщина перекрывающих флюидоупоров (по Зубкову М.Ю., 1984 с добавлениями)

бесперспективной (рис. 2а). Отмечается лишь ряд локальных участков, на которых обсуждаемый параметр имеет значения выше критических 10 м. Это южная часть Александровского мегавала с прилегающей частью Колтогорского мегапрогиба и северной частью Средневасюганского мегавала, северная часть Каймысовского свода, южная часть Верхнедемьянского мегавала с прилегающими участками (см. рис. 2а). Отмечается ряд территорий, в пределах которых баженовская свита непосредственно залегает на васюганских песчаниках. Наиболее крупные из них по площади расположены в южной и юго-восточной частях плиты (Верхнедемянский мегавал, Каймысовский свод с прилегающими районами и юго-восточная часть Нижневартовского свода, центральная часть Александровского мегавала и далее на восток вплоть до Пыль-Караминского мегавала). Вся западная, северная и прибортовая части плиты перспективны по этому признаку (см. рис. 2а). Граница между надежной и слабой гидродинамической изоляцией отложений свиты снизу протягивается в субмеридиональном направлении вдоль западного склона Сургутского свода и совпадает с таковой распространения пласта Ю₁.

Кажущиеся сопротивления (КС). Величина КС отложений свиты определяется главным образом их вещественным составом, битуминозностью и содержанием остаточной воды [1, 2–5, 9, 12, 16, 19, 22–24]. При условии если сопоставить карту-схему распределения величины КС и содержания хлороформенного битумоида в отложениях свиты, то в общих чертах изолинии содержания битумоидов 0.8–1.0 % повторяют изомы 100–150 Омм [4, 11]. По величине КС можно даже ранжировать площади по степени их битуминозности, а следовательно, и перспективности (рис. 2б). В пределах площадей с доказанной нефтеносностью свиты величина ее КС составляет порядка 200–250 Омм и выше [3–5, 24]. На месторождении Большой Салым отмечается закономерное увеличение значений КС по мере нарастания содержания в ней битумоидов от 250 до 500–1000 Омм и от 1.5 до 3.0 % соответственно (Зубков М.Ю., 1984).

Изменение Тпл по кровле свиты также в целом напоминает схему распределения значений КС (см. рис. 1в и 2б). Так, температурной аномалии на Красноленинском своде соответствуют повышенные значения КС, отмечаемые в этом же районе. Территория Большого Салыма оконтуривается изотермой 100 °С с максимальными значениями КС и Тпл в районе Салымского месторождения (см. рис. 1в и 2б). В соседнем Сургутском районе область низких

значений КС (менее 200 Омм) совпадает с изотермой 80 °С (см. рис. 1в и 2б). Из приведенных выше фактов становится очевидным, что битуминозность отложений свиты напрямую связана с температурой, являющейся главным фактором (наряду с концентрацией ОВ в отложениях свиты), определяющим интенсивность генерации керогеном нафтидов, а потому оба этих параметра (Тпл и КС) напрямую связаны друг с другом [6, 9, 12, 18, 19, 23, 24].

Величина удельной генерации нафтидов.

Установленная зависимость между степенью превращения керогена в УВ (нафтиды) и величиной современной Тпл позволила с использованием данных о распределении ОВ в составе свиты и Тпл построить карту-схему удельной генерации нафтидов (рис. 2в) [6]. Из полученных данных следует, что наиболее перспективными (с максимальными значениями удельной генерации нафтидов) являются западные районы плиты. К максимально перспективным можно отнести следующие:

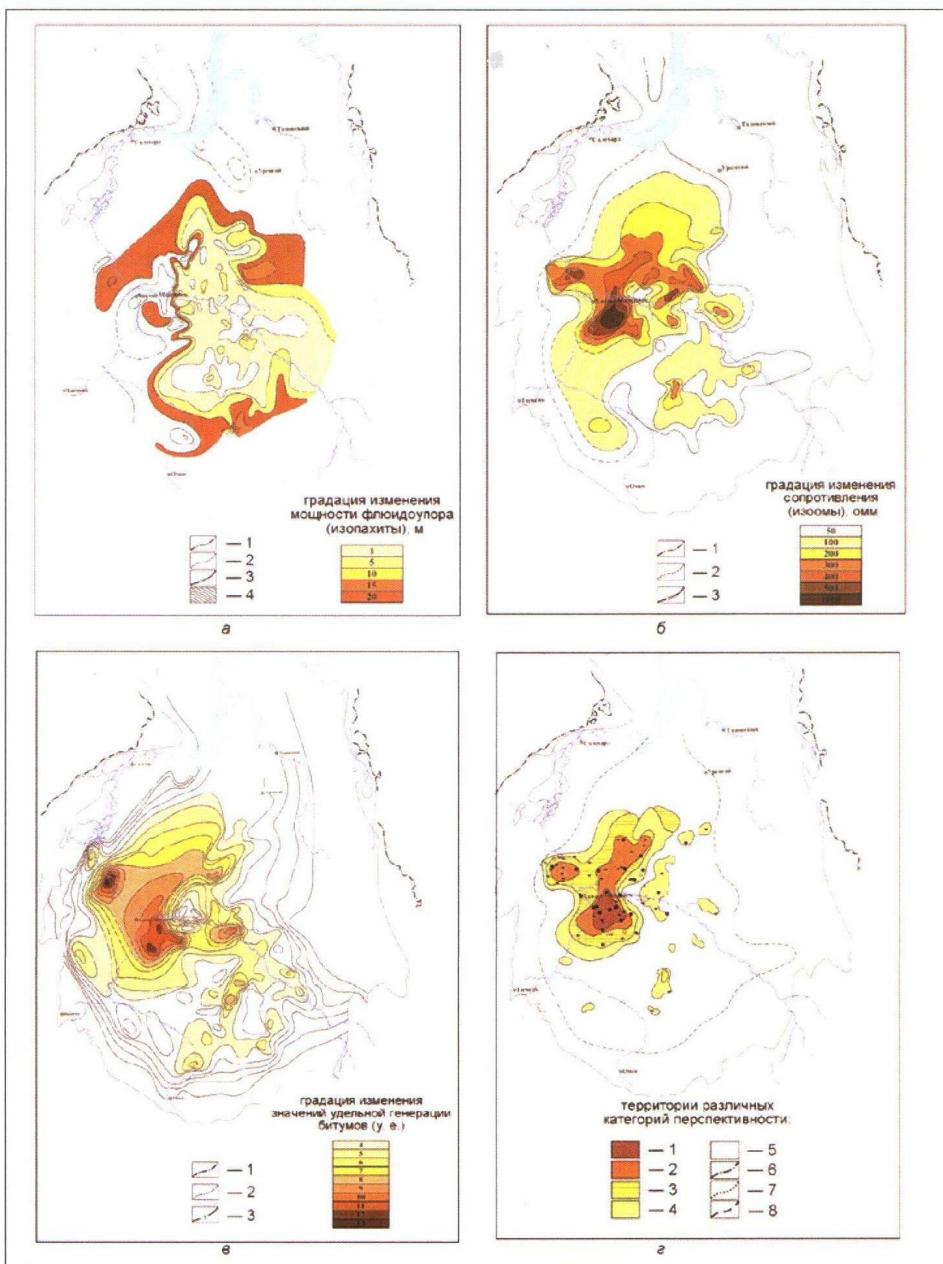
— Красноленинский свод и Назымскую и Гаяновскую площади, расположенные к востоку от него;

— западный склон Сургутского свода;

— район месторождения Большой Салым с прилегающими территориями, включая Северо-Демянское (на юге), Приобское, Приразломное месторождения и далее на север — Тортасинский лицензионный участок, Камынское и, наконец, Ай-Пимское месторождения (рис. 2в).

Здесь следует отметить, что, используя ту же зависимость степени превращения керогена в нафтиды в зависимости от Тпл, легко рассчитать, например, величину вторичной пористости, образующейся в отложениях свиты, за счет твердого керогена, превращающегося в жидкие и газообразные нафтиды. Можно использовать построенную таким образом карту вторичной пористости в качестве еще одного критерия для оценки перспектив ее нефтеносности. Однако она будет очень похожа на рассмотренную выше карту удельной нефтегенерации, поскольку оба эти процессы (генерация нафтидов и формирование вторичной пористости за счет керогена) взаимосвязаны, поэтому величина вторичной пористости здесь не используется в качестве еще одного критерия для оценки перспектив нефтеносности баженовской свиты.

Карта-схема региональных перспектив нефтеносности баженовской свиты. Путем наложения друг на друга всех полученных карт-схем с выбранными в качестве критериев семью параметрами получается обобщенная сводная прогнозная карта-схема региональных перспектив баженовской свиты (рис. 2г) [4, 12].



Условные обозначения:

a: 1 – граница палеозойского обрамления, 2 – границы распространения отложений Волжско-берриасского возраста, 3 – изопахиты отложений баженовской свиты, м, 4 – непосредственное залегание на проницаемом пласте;

б: 1 – граница палеозойского обрамления, 2 – границы распространения отложений Волжско-берриасского возраста, 3 – изоомы;

в: 1 – граница палеозойского обрамления, 2 – границы распространения отложений Волжско-берриасского возраста, 3 – изолинии удельной генерации битумов (усл. ед.);

г: территории различных категорий перспективности: 1 – первой категории с возможными дебитами более 10 м³/сут, 2 – второй категории с возможными дебитами 3–10 м³/сут, 3 – третьей категории с возможными дебитами 1–3 м³/сут, 4 – четвертой категории с возможными дебитами 0,1–0,5 м³/сут, 5 – бесперспективные земли с возможными дебитами менее 0,1 м³/сут, 6 – граница палеозойского обрамления, 7 – границы распространения отложений Волжско-берриасского возраста, 8 – граница распространения битуминозных отложений баженовской свиты и ее аналогов.

Рис. 2. Критерии, используемые для оценки региональных перспектив отложений баженовской свиты:
а – мощности подстилающих свиту флюидоупоров; **б** – значения кажущегося сопротивления отложений свиты; **в** – величина удельной нефтегенерации отложений свиты; **г** – карта-схема региональных перспектив отложений баженовской свиты (по Зубкову М.Ю., 1984, с добавлениями)

Земли первой категории, отнесенные к наиболее перспективным, характеризуются полным совпадением в их границах всех выбранных в качестве критериев параметров (см. рис. 2г). Предполагается, что в их пределах из скважин, вскрывших верхнеюрские отложения, можно будет получить наиболее высокодебитные притоки. Эти земли в общих чертах совпадают с месторождением Большой Салым [4, 12].

Земли второй категории — это территории, в пределах которых хотя бы один из выбранных критериев имеет значения ниже критических. Эти земли окружают территорию, отнесенную к землям первой категории, и простираются в северном направлении. Кроме того, земли этой же категории расположены в пределах Красноленинского свода (см. рис. 2г) [4, 12]. В границах этих территорий возможно получение среднедебитных притоков из верхнеюрских отложений.

Земли третьей категории — это площади, в пределах которых два из выбранных критериев имеют значения ниже критических. Как правило, они окружают земли более высокой категории перспективности. Судя по результатам испытаний скважин, вскрывших верхнеюрские отложения в пределах этих земель, из них получены низкодебитные притоки нефти, составляющие не более 3–5 м³/сут (см. рис. 2г) [3, 12].

Земли четвертой категории — это площади, в пределах которых критические значения у трех любых параметров, выбранных выше в качестве критериев оценки перспектив нефтеносности баженовской свиты, ниже принятых. Эти земли узкой полоской окружают территории, имеющие более высокие категории перспективности (см. рис. 2г). Отмечаются небольшие по площади участки, принадлежащие к этой категории земель. Они расположены в центральной, южной и восточной частях плиты, наиболее крупные из которых присутствуют в Танловской мегавпадине и западной части Нижневартовского свода и его погружении (см. рис. 2г). Ожидаемые притоки нефти из верхнеюрских отложений в пределах этой категории земель, скорее всего, не будут превышать 1–2 м³/сут, то есть будут непромышленными. Остальные территории отнесены к категории бесперспективных (см. рис. 2г). В завершение рассмотрения критериев региональных перспектив нефтеносности отложений баженовской свиты отметим, что помимо механизма формирования коллекторов путем природного флюидоразрыва ряд исследователей рассматривал возможность образования коллекторов в отложениях свиты в результате тектонического дробления и возникновения в них трещиноватого коллектора [20, 21, 25]. Однако каким

образом искать эти трещиноватые коллекторы, в этих публикациях не объяснялось, поэтому они носили, скорее всего, декларативный характер.

Потенциально продуктивные пласти.

Прежде чем перейти к рассмотрению критериев, используемых с целью локального прогноза нефтеносности отложений баженовской свиты, попробуем разобраться, какие литологические типы пород, входящие в ее состав, являются коллекторами и каков механизм формирования этих коллекторов. Напомню, что литологические разновидности пород, в которых под действием вторичных (как мы увидим ниже, имеющих тектоно-гидротермальную природу) процессов формируются вторичные коллекторы, названы автором этой публикации потенциально продуктивными породами (ППП) [11–13, 15, 16].

Прямые признаки углеводородов в отложениях баженовской свиты встречены в нескольких разновидностях пород, главным образом имеющих кремнистый, карбонатный и переходный между ними кремнисто-карбонатный составы [9–16]. Рассмотрим их более подробно, начав с пород, имеющих кремнистый состав.

Силициты — породы, сложенные преимущественно биогенным микрозернистым кремнеземом с небольшой примесью глинистого и карбонатного материала, а также керогена. В этом типе пород отмечаются субвертикальные трещины, на поверхности которых присутствуют пленки или корочки твердых, реже вязких битумов почти черного цвета, а также многочисленные мелкие кристаллы эпигенетических минералов, имеющих гидротермальное происхождение (рис. 3а, 3б) [13, 15–18]. В этой разновидности пород под действием тектонических напряжений и последующего гидротермального воздействия формируется трещинный тип коллектора (см. рис. 3а, 3б).

Радиоляриты — породы, сложенные раковинками радиолярий, содержание кремнезема в которых нередко достигает 90 % и даже больше, глинистых минералов не больше 3–5 %, а керогена — 1–2 %. Часто радиоляриты в большей или меньшей степени замещаются карбонатными минералами. В тех случаях, когда они полностью оказываются замещенными карбонатами, образуются карбонатные радиоляриты. Здесь речь идет именно о радиоляриях, то есть о кремнистых породах. В радиоляриях в тех случаях, когда между раковинками радиолярий сохраняется первичная пористость, отмечается псевдогрануллярная емкость. Действительно, раковинки радиолярий, полностью сложенные кремнеземом, имеют размеры, соответствующие в среднем крупноалевритовой и мелкозернистой песчаной гранулометрии

ческим фракциям, а потому фактически ничем не отличаются от обычных гранулярных коллекторов. В псевдогранулярной емкости, сохранившейся между раковинками радиолярий благодаря их высокой прочности, присутствуют углеводороды, поэтому прослои радиоляритов люминесцируют в ультрафиолетовом (УФ) свете, в то время как в монолитных (не трещиноватых) силицатах люминесценция полностью отсутствует (рис. 3в). На спектрах ЯМР поперечной релаксации (T_2) силикатов и радиоляритов, насыщенных керосином, хорошо видно, что в первых присутствуют лишь чрезвычайно мелкие поры, заполненные связанным флюидом, причем их суммарная емкость составляет всего около 3 %, в то время как в радиоляритах присутствуют довольно крупные поры, заполненные свободным флюидом, и их общая пористость превышает 11 % (рис. 3г).

Гидротермальные силикаты. Из названия следует, что главную роль в формировании этого типа коллекторов, помимо тектоники, играли гидротермальные флюиды, имевшие кислый состав. Они представляют собой кремнистую породу, сложенную многочисленными мелкими кристаллами гидротермального кварца, имеющими размеры всего 2–5 мкм (рис. 3д). Исходными отложениями, по которым образуется рассматриваемый тип коллектора, являются радиоляриты, частично замещенные карбонатными минералами (рис. 3е). По зонам дробления гидротермы проникали в такие частично карбонатизированные радиоляриты и растворяли карбонатный материал. В результате этого процесса образовалась вторичная емкость, в которой впоследствии по мере их остывания, ощелачивания и насыщения легко растворимым биогенным кремнеземом образовывались многочисленные мелкие великолепно ограненные кристаллы гидротермального кварца (см. рис. 3д). Вторичная емкость, образовавшаяся таким образом, может быть условно названа порово-микрокавернозной.

Карбонаты. Вторичные коллекторы, образующиеся в карбонатных разновидностях пород, входящих в состав не только баженовской, но и абалакской свит, выглядят гораздо более эффектно, чем кремнистые разновидности, особенно в УФ свете, из-за присутствия в эпигенетических (гидротермальных) карбонатах микрокапельной нефти, захваченной ими из гидротермального флюида в процессе их роста (рис. 4) [15, 16]. Вторичные коллекторы, образующиеся в рассматриваемых карбонатных породах, относятся к трещинно-кавернозному типу [10–13, 15, 16]. Карбонаты, в отличие от пород кремнистого состава, которые

очень слабо растворяются в кислых гидротермах, наоборот, легко растворяются в кислых гидротермальных флюидах, а потому в них под действием тектонических напряжений и последующей гидротермальной проработки образуются не только трещины, но и каверны выщелачивания, имеющие размеры в диаметре до первых сантиметров (см. рис. 4) [10–13, 15, 16].

Подтверждением участия гидротермальных растворов в формировании вторичных коллекторов в отложениях баженовской и абалакской свит является присутствие на поверхности трещин и каверн сильно метаморфизованных битумов черного цвета, часто имеющих твердую и даже хрупкую консистенцию, ассоциирующихся с мелкими (ранняя генерация) и крупными (поздняя генерация) прекрасно ограненными кристаллами кварца (рис. 5а, 5б). На поверхности трещин и каверн часто кроме кварца присутствуют отдельные кристаллы и их агрегаты барита, кальцита и доломита (рис. 5в). Встречаются кристаллы и более экзотичных минералов, таких как бариевый полевой шпат или цельзиан (рис. 5г). Кроме того, приповерхностная часть трещин из-за присутствия в составе гидротерм кислорода осветляется, сера, входящая в состав битуминозных отложений, окисляется до сульфатной формы и, соединяясь с растворенным в гидротермальном флюиде барием, образует многочисленные оптически ориентированные кристаллы барита (рис. 5д). По мере охлаждения гидротермального раствора из него кристаллизуются мелкокристаллические агрегаты ангидрита (рис. 5е). При еще более низких температурах из гидротерм выделяются сульфиды железа, никеля и серебра.

Кроме перечисленных выше типов пород-коллекторов, входящих в состав баженовской и абалакской свит, можно выделить еще несколько более экзотичных разновидностей, которые встречаются редко и обладают небольшой мощностью.

Во-первых, это копролиты, имеющие фосфатный и/или карбонатный состав, характеризующиеся трещинно-псевдопоровой структурой пустотного пространства [16]. Толщина копролитовых прослоев в среднем составляет всего 1–3 см, поэтому они, несмотря на присутствие в них подвижных УВ, не представляют практического интереса для разработчиков.

Во-вторых, доломитовый радиолярит с небольшой примесью кальцита и фрамбоидального пирита, остатками незамещенного карбоната кремнезема и довольно высоким содержанием ихтиодетрита (около 10–12 %), имеющего почти черный цвет [18]. Толщина прослоя,

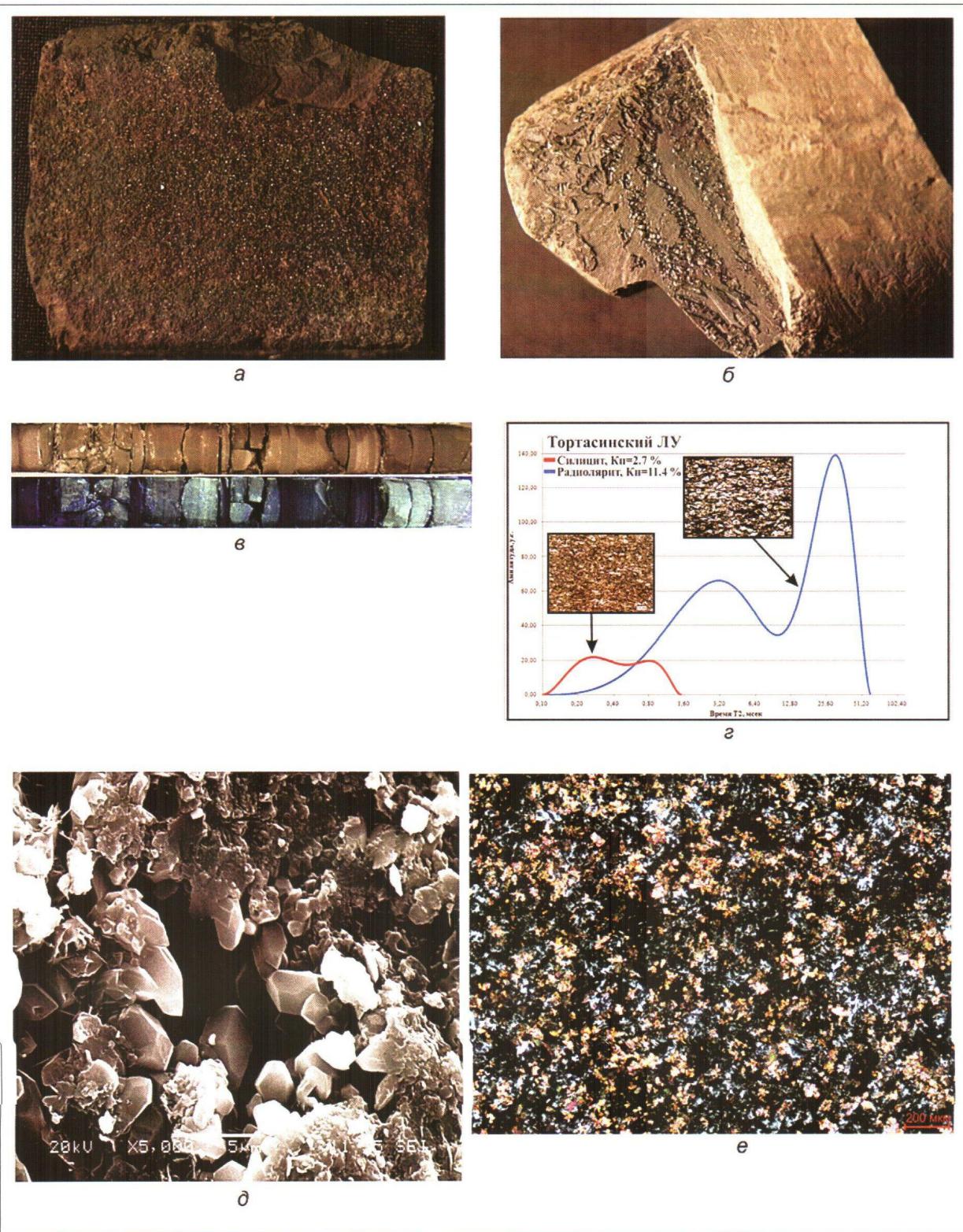


Рис. 3. Фотографии полноразмерных образцов кремнистого состава (а–в), спектр ЯМР силициита и радиолярита (г) и снимок РЭМ микрокавернозных участков в радиоляритах с микродрузами кварца (д), исходный кремнисто-карбонатный радиолярит (е), отложения базеновской свиты: Маслиховское (а, б), Тортасинское (в, г), Верхне-Салымское (д) и Приобское (е) месторождения (по [16] с добавлениями)

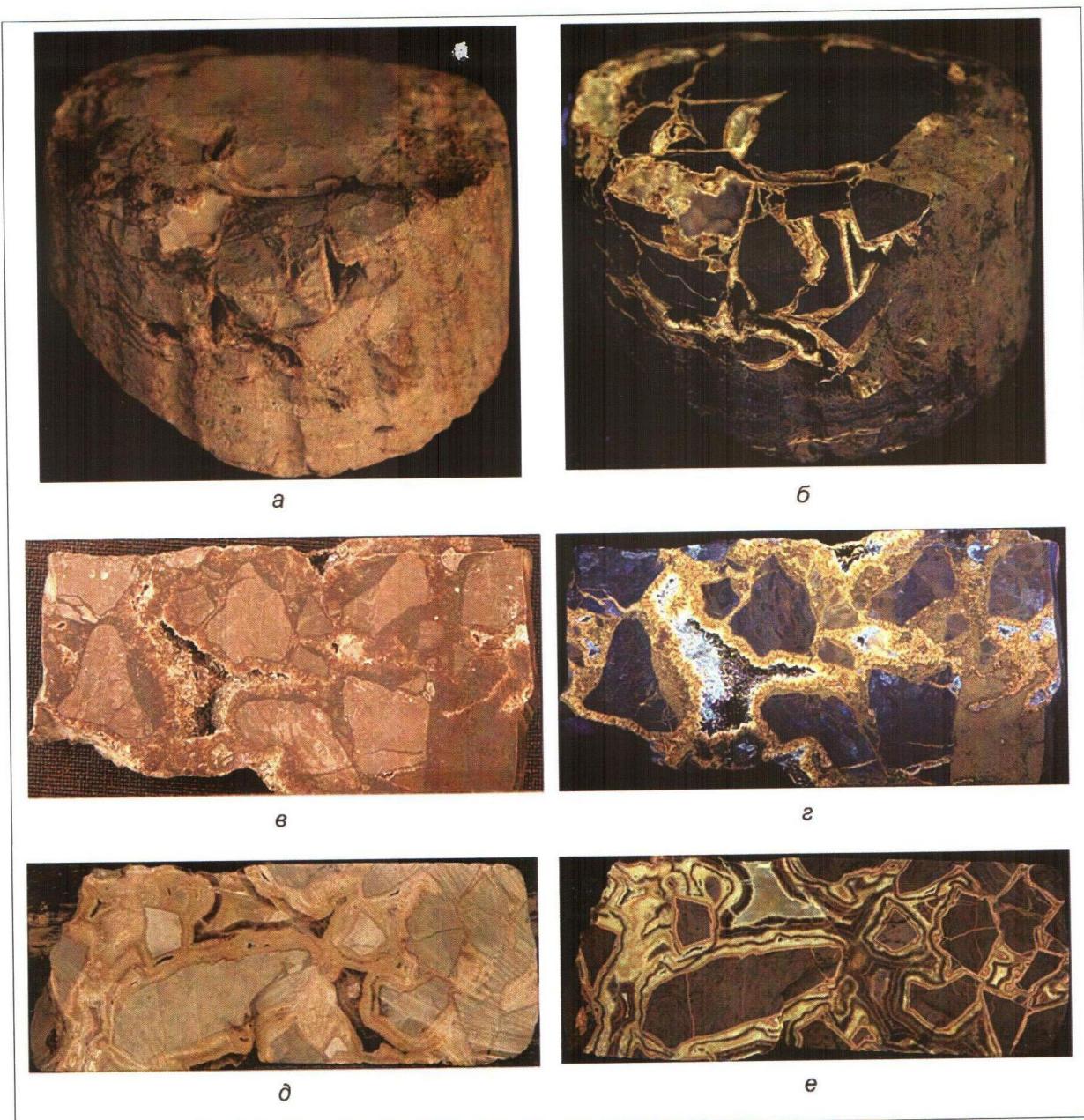


Рис. 4. Фотографии полноразмерных трещинно-кавернозных образцов карбонатного состава, снятых в белом (а, в, д) и ультрафиолетовом (б, г, е) свете, отобранных из верхнеуральских отложений месторождений: а, б – Усть-Балыкское; в, г – Салымское; д, е – Сыморьяхское (по [16])

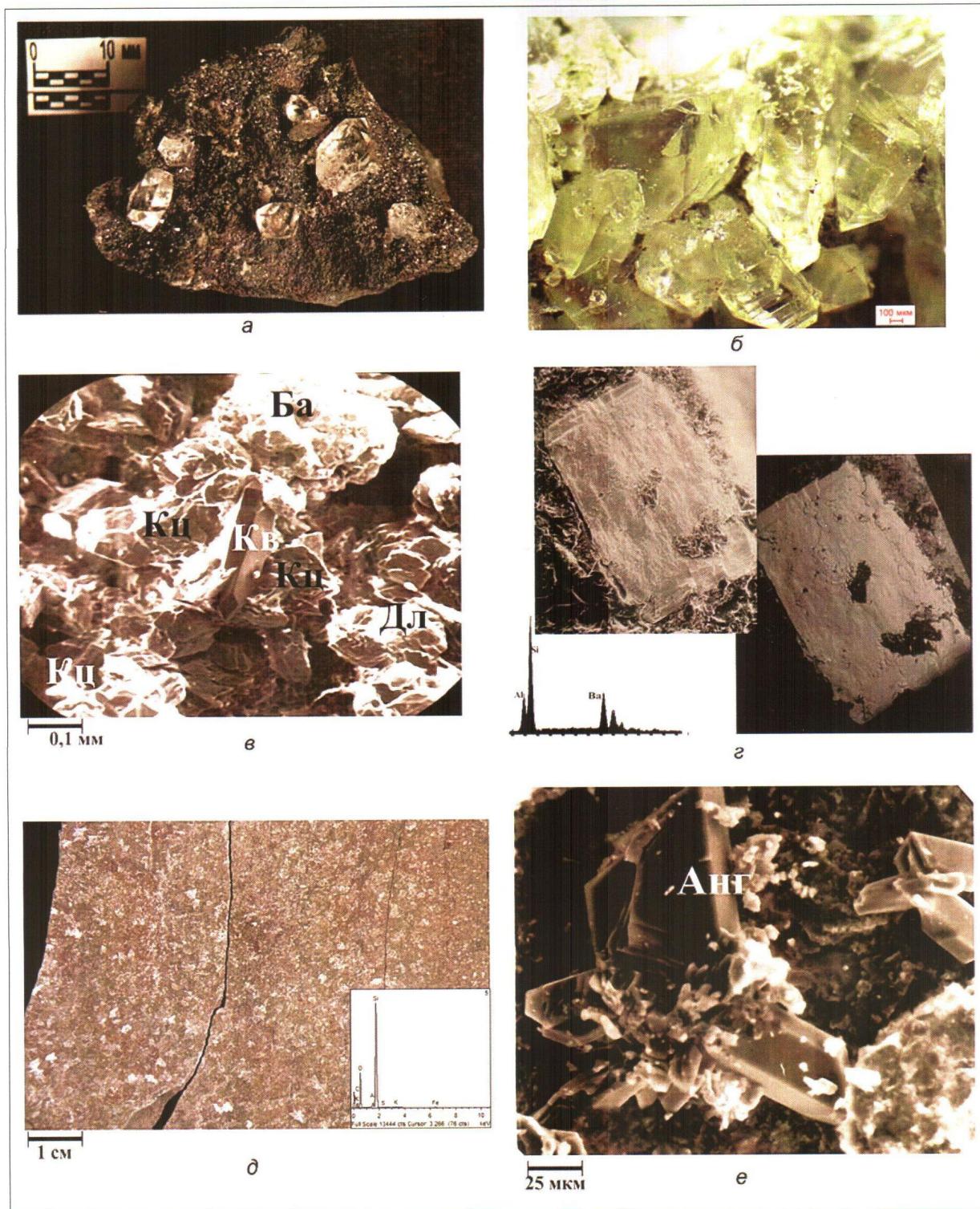


Рис. 5. Фотографии поверхностей трещин и каверн в карбонатах и силициатах, отобранных из отложений баженовской и абалакской свит с эпигенетическими минералами гидротермального происхождения:
 а – кристаллы кварца на поверхности трещины, покрытой черным метаморфизованным битумом;
 б – микродробы кварца, в – отдельные кристаллы (кварц) и агрегаты (кальцит, барит, доломит)
 в каверне; г – кристалл цельзиана (бариевый полевой шпат), снятый в обычном (слева) и КОМПО (справа)
 режимах, и его элементный спектр; д – многочисленные оптически ориентированные кристаллы барита
 на окремненной и осветленной поверхности трещины; е – микродробы ангидрита. Сокращения: Кв – кварц,
 Кц – кальцит, Ба – барит, Дл – доломит, Анг – ангидрит

представленного описываемой породой, составляет всего 30–35 см. Вторичная емкость в рассматриваемом коллекторе сформировалась вследствие выщелачивания гидротермами фосфатов, входящих в состав ихтиодетрита и карбонатов. Исходя из генезиса рассматриваемого вторичного коллектора его можно отнести к трещинно-микрокавернозному, его открытая пористость составляет 8–10 % [18].

В-третьих, «пиритовый» пласт, имеющий мощность около 1 м, представляет собой породу, сложенную преимущественно мелкозернистым (обычно фрамбоидальным) пиритом (40–60 %), доломитом (10–15 %), кальцитом (5–7 %), сидеритом (6–8 %) и кварцем (3–5 %) [18]. Кероген, как и в предыдущем типе породы, полностью отсутствует, а ОВ, как и в описанном выше пласте, представлено керитоподобным окисленным с высоким содержанием серы метаморфизованным битумом, содержание которого составляет около 4–6 % [18]. Механизм формирования вторичного коллектора и его тип в рассматриваемом продуктивном пласте такой же, как и в предыдущем: вторичная емкость в нем возникла главным образом за счет выщелачивания кислыми гидротермальными флюидами многочисленных обломков ихтиодетрита, от которых остались лишь отрицательные формы, а также карбонатного материала. Пористость описываемого «пиритового» пласта составляет 15–17 %, а проницаемость — 13–15 мД [18].

Оба продуктивных пласта, описанных выше, характеризуются высокой радиоактивностью из-за большого содержания в них урана, концентрация которого достигает промышленных значений [18].

Таким образом, из всех рассмотренных выше типов вторичных коллекторов, содержащих в своем поровом пространстве УВ, наибольший практический интерес имеют ППП, представленные кремнистыми, карбонатными и переходными между ними разновидностями, а именно силицизы (включая радиоляриты) и карбонатные породы (в том числе карбонатные радиоляриты). Рассмотрим, как образовались эти разновидности пород.

В публикациях (В.А. Захаров, Ф.Г. Гураги, В.Н. Сакс, Ю.В. Брадучан, С.П. Булынникова, А.В. Гольберт, А.И. Лебедев, Б.Н. Шурыгин, Б.Л. Никитенко, В.В. Сапьяник, А.Н. Алейников, Н.К. Могучева, Е.А. Предтечинская, И.В. Панченко, В.Д. Немова и др.), посвященных стратиграфии и палеогеографии, модели экосистемы и условия осадконакопления верхнеюрских отложений преподносятся в виде самых общих сведений о палеогеографических и палео-

фацальных условиях отложения верхнеюрских осадков в преимущественно бореальном эпиконтинентальном морском бассейне. К сожалению, в этих публикациях отсутствуют сведения о том, как именно образовались описанные выше ППП, представленные силицизы (включая радиоляриты) и карбонатными отложениями.

В настоящей публикации рассмотрим более детально условия и способы образования упомянутых выше ППП, с которыми связаны основные объемы извлекаемых запасов УВ в баженовской и абалацкой свитах.

Радиоляриты. Несмотря на небольшие мощности отдельных прослоев радиоляритов (5–30 см), их суммарная толщина в разрезе скважин может достигать первых метров, поэтому они представляют известный интерес как продуктивный объект.

Судя по их вещественному составу, а именно крайне низкой концентрации в них глинистых минералов и ОВ, можно заключить, что они отлагались в достаточно активных гидродинамических условиях [7]. Скорее всего, благодаря сравнительно крупным размерам, соответствующим крупнозернистой алевритовой и мелкозернистой песчаной гранулометрическим фракциям. Они накапливались благодаря природному процессу шлихования, обусловленного вымыванием придонными течениями легких мелких минеральных и органических частиц, и, соответственно, обогащению осадка более крупными и тяжелыми раковинками радиолярий [7]. Косвенно это подтверждается также низкой концентрацией в них аутигенного пирита (обычно менее 1 %), для образования которого необходима достаточно высокая концентрация ОВ в донном осадке. ОВ, входившее в состав радиолярий, легко окислялось в таких условиях благодаря постоянному приносу придонными течениями свежих порций насыщенных кислородом морских вод. При условии если описываемая модель накопления радиоляритов справедлива, то мощность их прослоев при прочих равных условиях соответствует продолжительности существования придонных течений в том или ином месте волжского морского бассейна. Поскольку описываемые течения в известном смысле напоминают «подводные реки», то мощности и латеральные размеры радиоляритовых прослоев косвенным образом свидетельствуют, во-первых, о «полноводности» этих течений, во-вторых, их скорости и, в-третьих, длительности существования. Поэтому одновозрастные радиоляритовые прослои не имеют широкого площадного распространения, а подобно речным отложениям повторяют морфологию дна верхнеюрского эпиконтинентального

бассейна, по которому перемещались придонные течения, и имеют гидродинамическую связь только в пределах этих одновозрастных радиоляритовых осадков.

Силициты. Для того чтобы понять, что представляют собой силициты и как они образовались, необходимо вспомнить, что основная часть вещества, слагающего отложения баженовской свиты, имеет аутогенное биогенное происхождение. Причем организмы, жившие в палеобассейне, принимали самое непосредственное участие в процессе осадконакопления [7].

Действительно, как было установлено учеными-оceanологами для современных осадков, мельчайшие планктонные организмы-фильтраторы (ракчи-эвфаузииды, коловратки и др.) способны профильтровать объем эпиконтинентального бассейна за несколько суток. В процессе фильтрации (кормления) эти организмы излишки взвеси (фекалии) отправляют на дно в виде студнеобразных капелек (pelllet). Так как размеры этих капелек, или пеллет, гораздо больше частиц взвеси, входящих в их состав, то они довольно быстро опускаются на дно, и придонные течения или волнения уже не могут перевести их во взвешенное состояние [7]. Благодаря деятельности организмов-фильтраторов морская вода в волжском бассейне сохраняла чистоту и прозрачность, что, в свою очередь, способствовало созданию эвтрофной пелагической экосистемы в нем. Сами эвфаузииды или, вернее, их панцири не сохранились, так как хитин, слагающий панцири этих организмов-фильтраторов, легко разлагался после их отмирания, и его компоненты (полисахариды) вновь вовлекались в биологический круговорот.

Если внимательно рассмотреть состав и строение силицитов, используя для этого прозрачные петрографические шлифы, то мы увидим, что они представляют собой породу, сложенную преимущественно многочисленными округлыми и линзовидными пеллетами, имеющими микрозернистый кремнистый состав (рис. 6а, 6б). Силициты — это, по сути, микрокопролиты, имеющие кремнистый состав. Если их изучать при еще больших увеличениях, используя для этого РЭМ, то можно отчетливо рассмотреть, что микрокопролиты состоят из мелких сферических образований, имеющих размеры в среднем 50–80 мкм (рис. 6в). При еще больших увеличениях видно, что сами сферические образования сложены очень мелкими, плохо ограненными микроскопическими кристаллами кварца, имеющими длину около 5–10 мкм (рис. 6г). Эти микроскопические кристаллки кварца можно рассмотреть и на фотографии петрографического шлифа, полученной в скрещенных николях (см. рис. 6б).

Исходя из результатов элементного анализа, полученного с площади снимка РЭМ, можно заключить, что помимо собственно биогенного кремнезема в составе микрокопролитов в небольшом количестве присутствуют глинистые минералы (гидрослюдя), примесь доломита и пленочный сера-аддержащий битум, выступающий отчасти в качестве цемента для микрокристаллов кварца (см. рис. 6г).

Что служило пищей для эвфаузиид и других фильтраторов, фекалии которых оказались сложенными преимущественно кремнистым материалом? Можно было бы предположить, что их пищей были радиолярии, однако они являются гетеротрофами, а потому не обладают такой высокой биопродуктивностью, чтобы обеспечить столь внушительный объем кремнистого материала в осадке. Кроме того, они имеют довольно крупные размеры, превышающие таковые пеллет, и сравнительно прочный скелет, который сохраняется в той или иной степени, чего мы не наблюдаем в составе микрокопролитов (см. рис. 6). Необходимо искать автотрофные планктонные организмы, имеющие кремнистый скелет, способные активно размножаться и в достаточно большом объеме.

Из известных в настоящее время планктонных организмов (разумеется, исключая радиолярии), обнаруженных в составе отложений баженовской свиты, имеющих кремнистый скелет, известны только динофлагелляты и губки (Захаров В. А., Сакс В. Н., 1980). Вместе с тем основная часть первых все же имела не минеральный скелет (панцирь), а органический (сложенный полисахаридами), а губки были встречены лишь в западной части волжского бассейна (главным образом в Шаймском НГР). Можно предположить, что основным источником биогенного кремнистого материала служили автотрофы — диатомовые водоросли, несмотря на то, что достоверно их присутствие доказано лишь в нижнемеловых отложениях. Из-за их преимущественно очень мелких размеров и тонкой хрупкой раковины, тем более прошедшей через пищеварительный тракт организмов-фильтраторов, они полностью разрушились, а слагавший их первоначально опал со временем через несколько промежуточных метастабильных фаз кремнезема превратился в мелкие кристаллы кварца, многочисленные, плохо ограненные (см. рис. 6б–г).

В прозрачных петрографических шлифах при внимательном изучении других литологических типов пород, например глинисто-кероген-кремнистого состава, также можно отметить присутствие многочисленных пеллет. Они в этом случае имеют не окружную или линзовидную, а плоскую

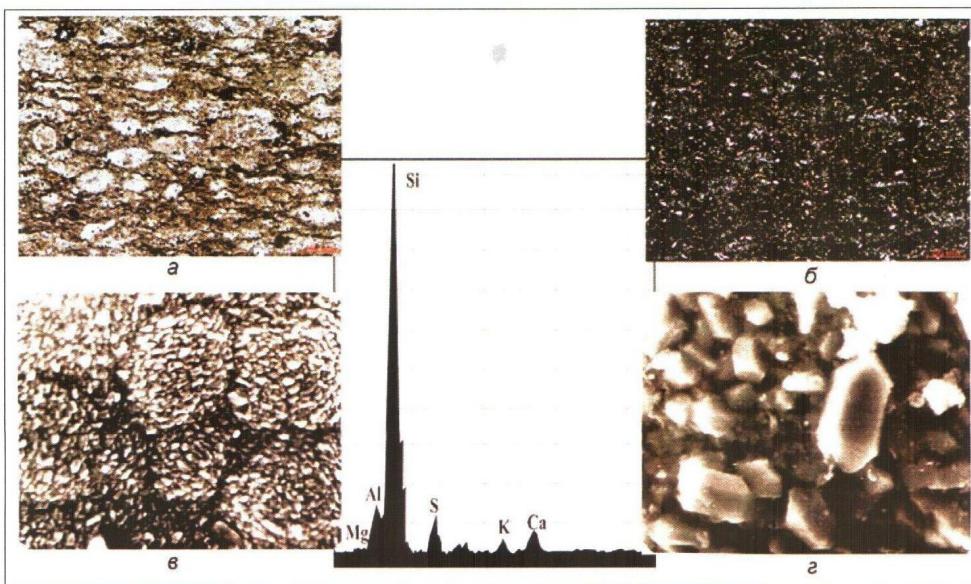


Рис. 6. Фотографии шлифа, снятые без анализатора (а) и с ним (б), снимки РЭМ (в, г) с результатами элементного анализа силицита, баженовская свита, Тортасинское (а, б) и Маслиховское (в, г) месторождения; увеличение 400 \times (в) и 2 000 \times (г)

(блиникоидную) форму, так как, не имея прочного (чисто кремнистого) каркаса, рассматриваемые пеллеты, обогащенные глинистым и органическим материалом, легко деформировались под действием веса перекрывающих осадков (рис. 7). Многочисленные зерна аутигенного фрамбоидального пирита равномерно распределены по площади шлифа, так как они образовались позднее, чем отложились пеллеты, а потому не имеют с ними генетической связи и не входят в их состав (рис. 7).

Эвфаузииды и другие организмы-фильтраторы в силу своей физиологии не имели возможности выбирать, что им употреблять в пищу. Все, что содержалось в виде планктона в волжском морском бассейне, через короткий промежуток времени с их помощью оказывалось на его дне в виде пеллет, превратившихся впоследствии в микрокопролиты. Следовательно, при таком механизме осадкообразования его интенсивность зависит главным образом от биопродуктивности различных участков верхневолжского бассейна, поэтому площади с повышенной плотностью планктонных организмов будут фиксироваться на дне в виде осадков, имеющих большую мощность. Этим же феноменом можно объяснить наблюдаемые несоответствия толщин осадков с морфологией дна бассейна, быструю смену величин мощностей одного и того же слоя на коротком расстоянии. Состав самих осадков зависит от соотношения в планктоннойзвези биогенного и терригенного материалов [7].

Что касается источника кремнезема в верхнеюрском эпиконтинентальном бассейне, то тер-

ригенных обломков кварца и алюмосиликатов, обладающих слабой растворимостью в морской воде, явно недостаточно, тем более что осадков в этот бассейн с окружающей его суши поступало крайне мало (он испытывал так называемый «седиментационный голод»). Необходимо привлечение дополнительных источников, вероятно, вулканического и поствулканического происхождения, таких как гидротермальные растворы (в том числе подводные), богатые растворенной в них кремнекислотой, на что в своих публикациях обращают внимание исследователи (Неручев С.Г., 1982; Гурари Ф.Г., 1988; Зубков М.Ю., 2001), и вулканические выбросы (пепел). Действительно, по данным И.В. Лучицкого, в верхнеюрское время на территории, окружающей верхнеюрский бассейн, существовало несколько крупных палеовулканов. Они могли являться источниками легко растворимого вулканического пепла кислого состава, который, поступая в этот бассейн, насыщал его кремнекислотой, так необходимой радиоляриям и диатомеям для построения их раковинок.

Карбонатные отложения. Исследователи, упомянутые выше, а также и другие, изучавшие отложения баженовской и абалакской свит, как правило, не объясняют механизм образования карбонатных осадков в этих отложениях. Говорится лишь о маломощных (2–20 мм) слойках ракушников, сложенных обломками раковин донных фильтраторов (бухии, инциерамы), реже еще более тонких прослойках (1–3 мм), представленных сплющенными раковинами аммонитов.

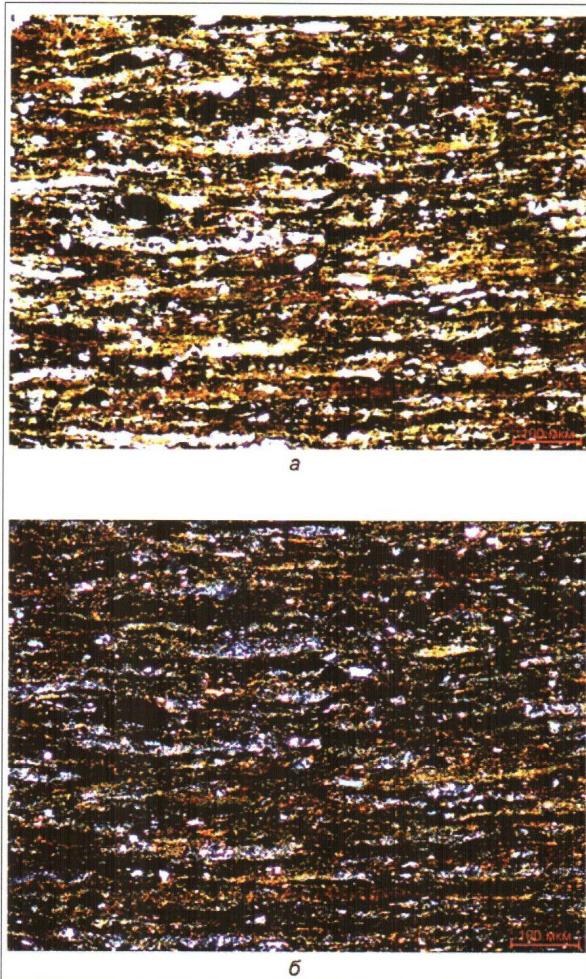


Рис. 7. Фотографии петрографического шлифа кероген-глинисто-кремнистого литологического типа, входящего в состав баженовской свиты, снятые без анализатора (а) и с ним (б), Тортасинское месторождение

Более мощные карбонатные отложения, встречающиеся главным образом в верхней части абалакской свиты, считаются конкреционными образованиями. В них часто отмечаются зияющие трещины и каверны, их относят к септариевому типу конкреций (Боркун Ф. Я., Сонич В. П., Чухланцева В. Я. и др., 1985; Сидоренков А. И., Симошкин А. А., Высоцкий В. Н. и др., 1985). Но поскольку из этих трещинно-кавернозных карбонатных пород часто получают высокодебитные притоки, причем в течение достаточно продолжительного времени, то трудно себе представить, чтобы отдельные септации, даже диаметром в 1–2 м, могли обеспечить такие притоки нефти.

Выше уже давалось объяснение тому, как образовались вторичные коллекторы (тектоно-гидротермального типа) в карбонатных пластах. Рассмотрим, как сформировались сами карбонатные породы. Волжский эпиконтинентальный

бассейн большинством исследователей относится к преимущественно boreальному типу, пусть даже и к semiаридному в его южной половине. В таких условиях хемогенные карбонатные отложения не накапливаются, а органогенные (ракушки), как мы убедились выше, имеют микроскопическую мощность.

Для того чтобы разобраться с генезисом карбонатных пород в составе баженовской и абалакской свит, необходимо обратиться к результатам исследований стабильных изотопов углерода, входящих в их состав. Эти исследования показали, что углерод, входящий в состав этих карбонатов, имеет преимущественно органическое происхождение [17]. Причем чем ближе к центру эпиконтинентального морского бассейна отложились карбонатные пласти, тем выше концентрация в них биогенного углерода [17].

Отложение рассматриваемых карбонатов происходит в верхнем слое осадка в «кислую» стадию разложения отмершего органического вещества (ОВ), входящего в его (осадка) состав. На этой стадии в результате процессов гниения ОВ выделяется большое количество углекислого газа, который растворяется в иловой воде в виде угольной кислоты (H_2CO_3), которая, в свою очередь, диссоциирует сначала до бикарбонат-иона:



а затем и карбонат-иона:



Сдвиг рассматриваемых реакций вправо, то есть в сторону образования бикарбонат- и карбонат-ионов в иловом осадке, обусловлен двумя основными факторами. Во-первых, слаботщелочной реакцией морской воды, что дает возможность нейтрализовать протоны, образующиеся в процессе диссоциации угольной кислоты, в соответствии с простейшей реакцией:



Во-вторых, практически неограниченным объемом буферной емкости морского бассейна, способного нейтрализовать ионы водорода, образующиеся вследствие приведенных выше реакций диссоциации угольной кислоты (уравнения 1–3).

Таким образом, вследствие увеличения в иловой воде концентрации карбонат-ионов происходит сдвиг карбонатного равновесия в сторону образования кальцита. Интересно, что из-за интенсивного отложения кальцита в составе иловой воды происходит снижение его концентрации и увеличение относительного содержания магния. При достаточно высоком значении отношения Mg/Ca в иловой воде становится возможным образование доломита. Здесь следует отметить, что в составе карбонатных радиоляритов и копролитов, о которых говорилось выше,

также присутствует преимущественно биогенный углерод в отличие от ракушников, сложенных неорганическим (хемогенным) карбонатом, извлеченным морскими организмами (двустворками, аммонитами, белемнитами, кокколитами и др.) непосредственно из морской воды [17].

Большее распространение и более внушительные мощности (до 2.5 м) карбонатных пластов в составе верхней части абалакской свиты, чем в отложениях баженовской свиты, может быть обусловлено следующими основными причинами.

Во-первых, более высокими палеотемпературами морских вод в довольно мелководном (по сравнению с баженовским) абалакском эпиконтинентальном бассейне, так как растворимость карбонатов уменьшается с ростом температуры.

Во-вторых, более интенсивным разложением отмершего ОВ из-за отсутствия аноксидных условий, вызываемых сероводородным заражением илового осадка, поэтому образовалось большое количество биогенного CO_2 , который в соответствии с вышеприведенными уравнениями (1–3) входил в состав карбонатных отложений.

Именно аноксидные условия тормозят образование биогенного CO_2 и, соответственно, карбонат-ионов в иловой воде, а потому «биогенные» карбонаты содержат мало пирита и органики (она разложилась или вернее окислилась до CO_2 и H_2O в оксидной обстановке). Силициты и радиоляриты, образовавшиеся в аноксидных условиях, сохраняют свой первичный кремнистый состав и не замещаются (псевдоморфно) карбонатами в силу подавленности процессов окисления ОВ и, соответственно образования биогенного CO_2 , а также производных от него карбонат-ионов.

Таким образом, если все вышесказанное справедливо, то прогноз распространения карбонатных ППП сводится к палеогеографическим реконструкциям. С их помощью можно было бы выделить в первую очередь участки, в пределах которых в осадке существовали оксидные условия. Это достаточно сложная задача. Кроме того, сами карбонатные породы отличаются и составом, и текстурно-структурными особенностями. Это свидетельствует о различных палеогеографических обстановках, в которых они образовывались, поэтому выделение участков с оксидными признаками в иловом осадке лишь необходимо, но далеко не достаточное условие. Действительно, карбонаты, встреченные, например, в составе абалакской свиты, бывают сложены как кальцитом, так и доломитом, анкеритом и сидеритом, а также карбонатами, имеющими более сложный элементный состав, включая разновидности, обогащенные марганцем [13]. Кроме того, они могут состоять из достаточно однородных мелко- или

среднекристаллических зерен либо крупных (перьевидных) кристаллов, наконец, карбонатизированных пеллет или оолитов, имеющих сложное (дву- или даже трехслойное) зональное строение. Наконец, имеются ритмично-зональные карбонаты, похожие по внешнему облику на биостромы с толщиной отдельных слойков от десятых долей до одного миллиметра. Основным глинистым минералом, присутствующим в этих карбонатах, является глауконит [13].

Широкое площадное распространение имеет самый верхний и наиболее мощный карбонатный пласт, расположенный в кровельной части абалакской свиты, из которого часто получают высокодебитные притоки УВ. Этот пласт, обозначенный В.И. Белкиным как КС₁ (коррелируемый слой 1, а не карбонатный, как его ошибочно называет молодое поколение «баженоведов»), скорее всего, свидетельствует о глобальных событиях в истории, по крайней мере, Западно-Сибирского морского бассейна на рубеже смены «абалакского» времени «баженовским». Вероятно, в это время произошло углубление палеобассейна, например, вследствие прогибания его дна (эпигенез) либо наблюдалось глобальное потепление климата, вызвавшее таяние полярных льдов и, соответственно, поступление огромных масс более холодных вод с севера (эвстазия). Это нарушило существовавшее в бассейне карбонатное равновесие и стимулировало отложение преимущественно биогенных карбонатов в виде упомянутого выше пласта КС₁.

Локальный прогноз нефтеносности отложений баженовской и абалакской свит. Локальный прогноз нефтеносности верхнеюрских отложений осуществляется путем решения двух задач. Во-первых, для этого необходимо установить суммарную мощность рассмотренных выше типов ППП в интервалах залегания отложений баженовской и абалакской свит и их протяженность или площадную распространенность в границах изучаемой территории. Во-вторых, осуществить прогноз зон дробления, в пределах которых в ППП формируются вторичные коллектоны тектоно-гидротермального происхождения.

Выделение ППП в разрезах баженовской и абалакской свит по данным ГИС. При выполнении локального прогноза нефтеносности верхнеюрских отложений в пределах выбранной площади первоначально необходимо определить суммарную мощность и площадную распространенность ППП, входящих в их состав, для чего используются результаты изучения керна и данные ГИС. Исходя из полученных результатов литолого-петрофизических исследований ППП (достаточно прочные, плотные, слabo

радиоактивные породы), используя комплекс ГИС, включающий ГК, ГГКп, нейтронные, акустические и электрические методы, не составляет большого труда выделить ППП в разрезах скважин, используя перечисленные выше методы ГИС [10–13, 15, 16]. Пример выделения ППП в разрезе верхнеюрских отложений, вскрытых скважиной 3000Р в пределах Назымской площади, представлен на рисунке 8.

На основе полученных данных строится карта суммарных толщин ППП в пределах выбранной площади, оценивается их площадное распространение [10–13, 15, 16]. Однако построенной карты распространения ППП недостаточно для выделения прогнозных зон, в пределах которых присутствуют вторичные трещинно-кавернозные коллекторы тектоно-гидротермального происхождения. Для этого необходимо осуществить прогноз участков, где происходило дробление ППП и образование в них коллекторов этого типа.

Выделение зон распространения вторичных коллекторов тектоно-гидротермального происхождения. Решение этой задачи осуществляется на основе оригинальной методики, основанной на комплексировании данных сейсморазведки и результатов тектонофизического моделирования [10–13, 15, 16].

Поскольку суть этой методики и результаты, полученные с ее помощью, подробно изложены в ряде публикаций (Зубков М.Ю., Бондаренко П.М., Пормейстер Я.А. и др., 1997, 1999, 2000, 2001, 2002, 2004, 2005, 2008, 2014), то в настоящей статье приводятся лишь самые общие сведения об этой методике.

Для проведения тектонофизического моделирования выбираются несколько базовых сейсмопрофилей, на которых присутствуют все основные разновидности тектонических структур, присутствующих в пределах рассматриваемой площади (рис. 9а). Проводится палеотектонический анализ, в соответствии с которым затем осуществляется моделирование роста поднятий, присутствующих на том или ином сейсмопрофиле [10–13, 15, 16].

Тектонофизическое моделирование выполняется двумя способами.

Первый — это оптико-поляризационный, основанный на способности оптически активных веществ (например, желатина) в области упругих деформаций под действием приложенных к ним напряжений окрашиваться в различные цвета нескольких порядков в зависимости от величины этих напряжений. По числу изохром (имеющих одинаковую окраску) определяется порядок или уровень касательных и нормальных напряжений, формирующихся в модели, а по ориентации изо-

клинов (черные линии на фотографии, рис. 9б) прогнозируются направления трещин, которые возникнут под действием приложенных напряжений. По результатам расшифровки полученной изохроматической картины строится схема распределения напряжений в модели, возникающих вследствие роста антиклинальных поднятий, наносятся траектории прогнозируемых трещин, оценивается их плотность и высота распространения (рис. 9в).

Второй — тектоно-седиментационный — осуществляется в двух вариантах: в двумерном (рис. 9г–е) и трехмерном (рис. 10). Для этого в боксах, заполненных водой, в соответствии с геологическим строением осадочного чехла рассматриваемого района осуществлялось осаждение глинистого, песчаного, алевритового материала, моделирующих осадочный разрез этого района. Компетентные пласти, имитирующие ППП, моделировались слоями цемента или альбастра белого цвета (см. рис. 9г). В соответствии с палеотектонической реконструкцией осуществлялось моделирование роста поднятий, изучались закономерности перемещения осадочного материала, формирования зон трещиноватости, образующихся вследствие их роста (рис. 9д). В случае роста крупных высокоамплитудных поднятий зона трещиноватости (разуплотнения) нередко выходила на поверхность модели в виде просадки осадков, если верхняя часть модели была сложена глинисто-алевритистым материалом, или трещин, если на поверхности модели располагался компетентный слой (рис. 9д, врезка слева вверху, рис. 10е).

После завершения эксперимента модель послойно разбиралась, осуществлялось тщательное препарирование компетентных слоев (рис. 9е, 11в–д) и с помощью программы анализа видеоизображений вычислялись значения «трещинной пористости», плотности трещин, их суммарной длины в каждом компетентном слое, а также строились зависимости этих параметров от размеров поднятий, их амплитуды и расстояния ППП от их вершины (рис. 11а, 11б) [10–13, 15, 16].

Полученные данные с использованием критериев теории подобия (разработанной Белоусовым В.В., 1962, 1975 и Гзовским М.В., 1975) применялись при обработке сейсмовременных разрезов, на основе чего строилась прогнозная карта-схема с выделением в ее пределах зон различных категорий перспективности и размещались проектные скважины в самых перспективных участках изученной территории (рис. 11в).

С помощью описанной методики были обработаны геолого-геофизические и сейсмические данные по 10 площадям с целью прогноза

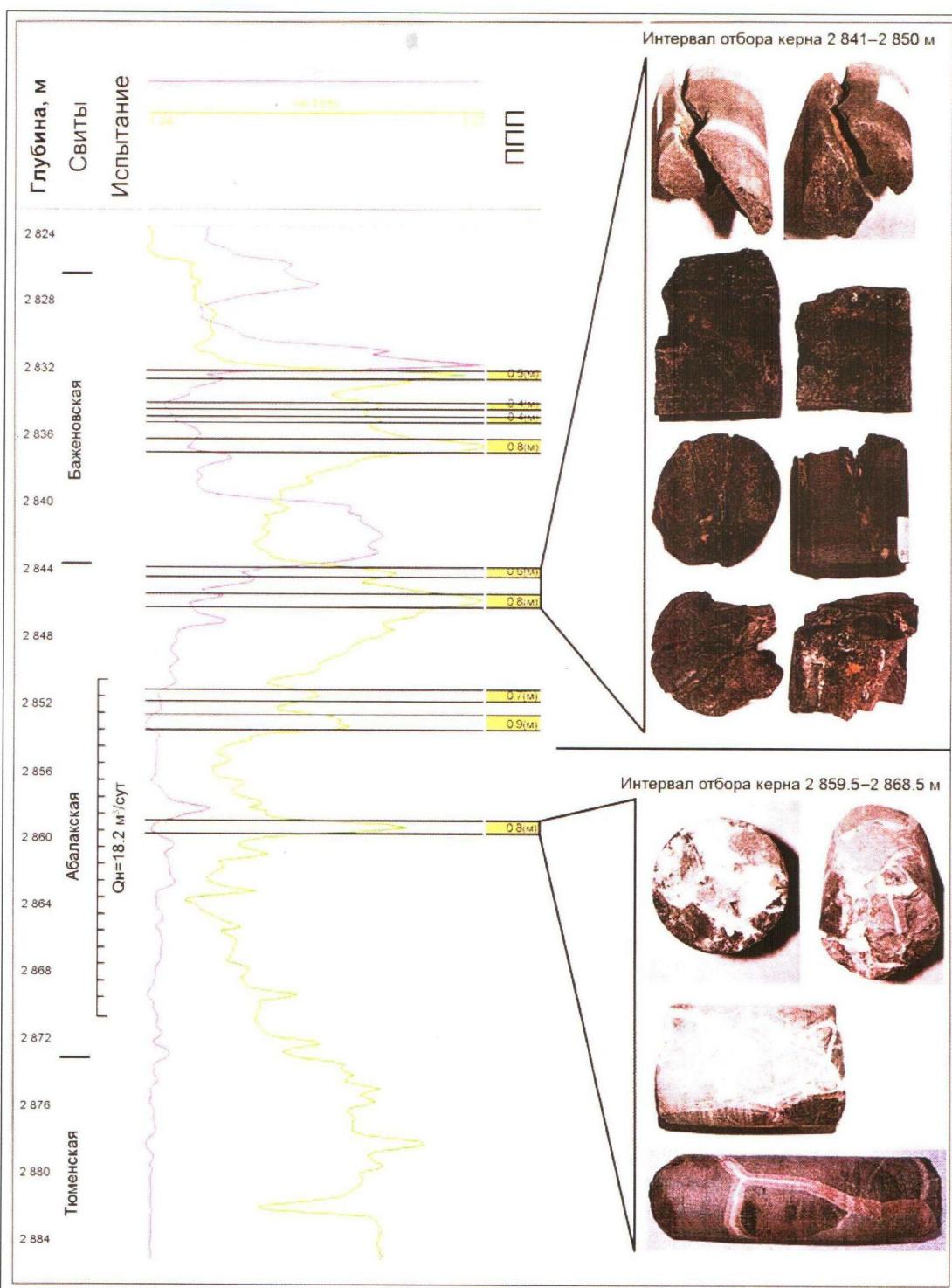


Рис. 8. Пример выделения потенциально продуктивных пластов в составе отложений баженовской и абалакской свит по данным ГИС, Надымская площадь, скважина 3000-Р (по [15])

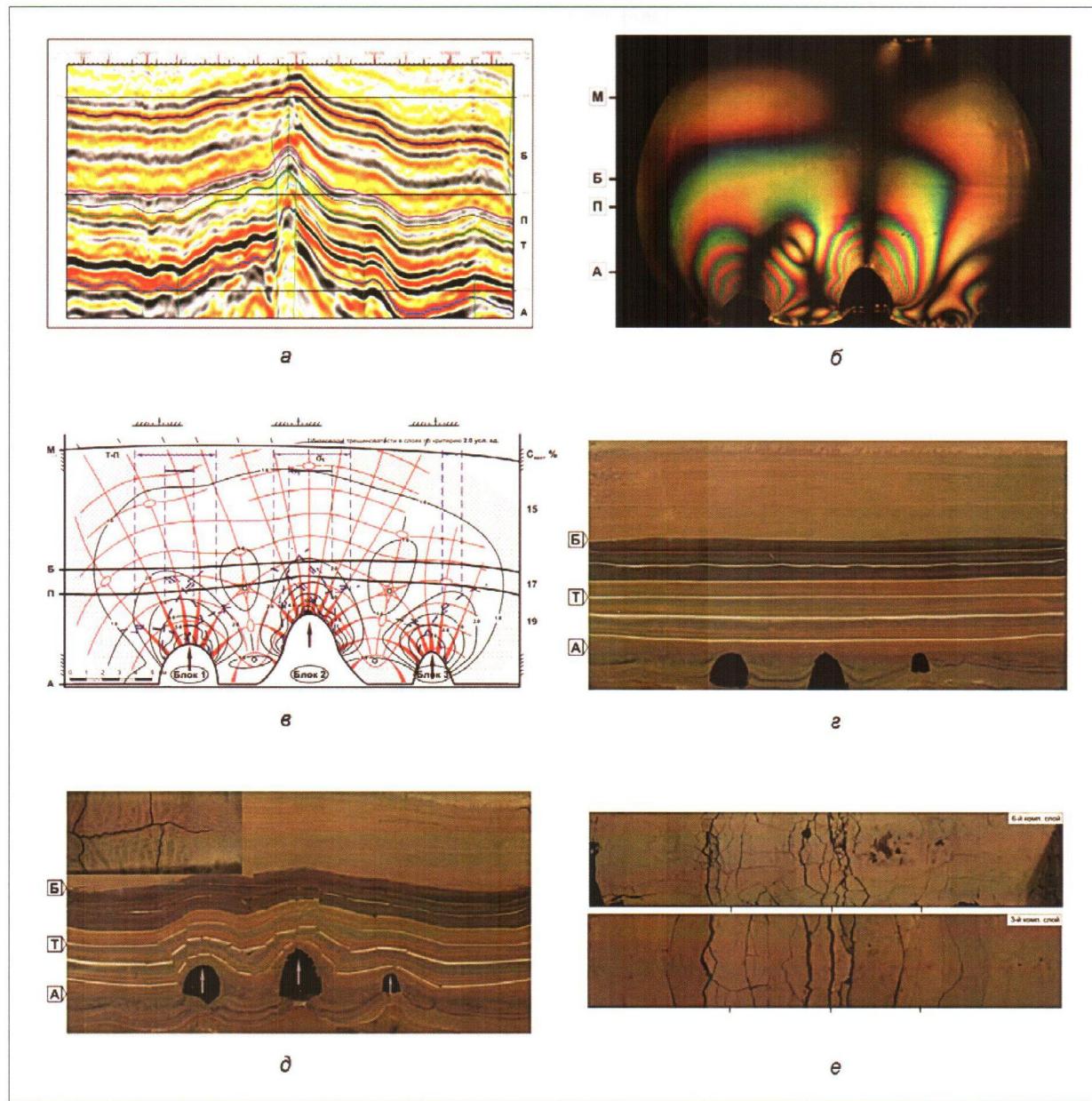
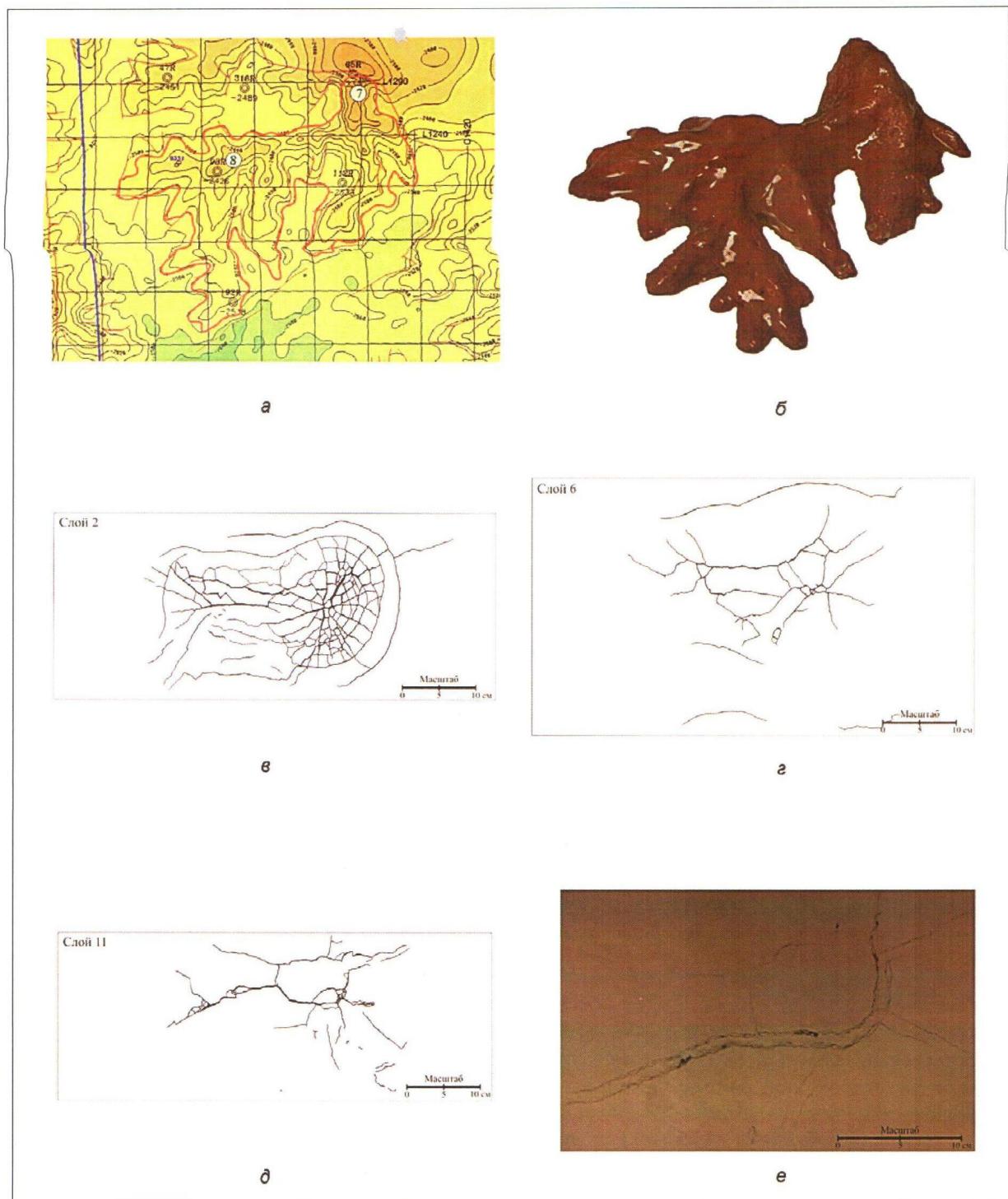


Рис. 9. Двумерное тектонофизическое моделирование на основе результатов сейсморазведки: а – базовый сейсмовременной разрез, выбранный для моделирования оптико-поляризационным (б, в) и тектоно-седиментационным (г–е) методами (по [14] с изменениями)



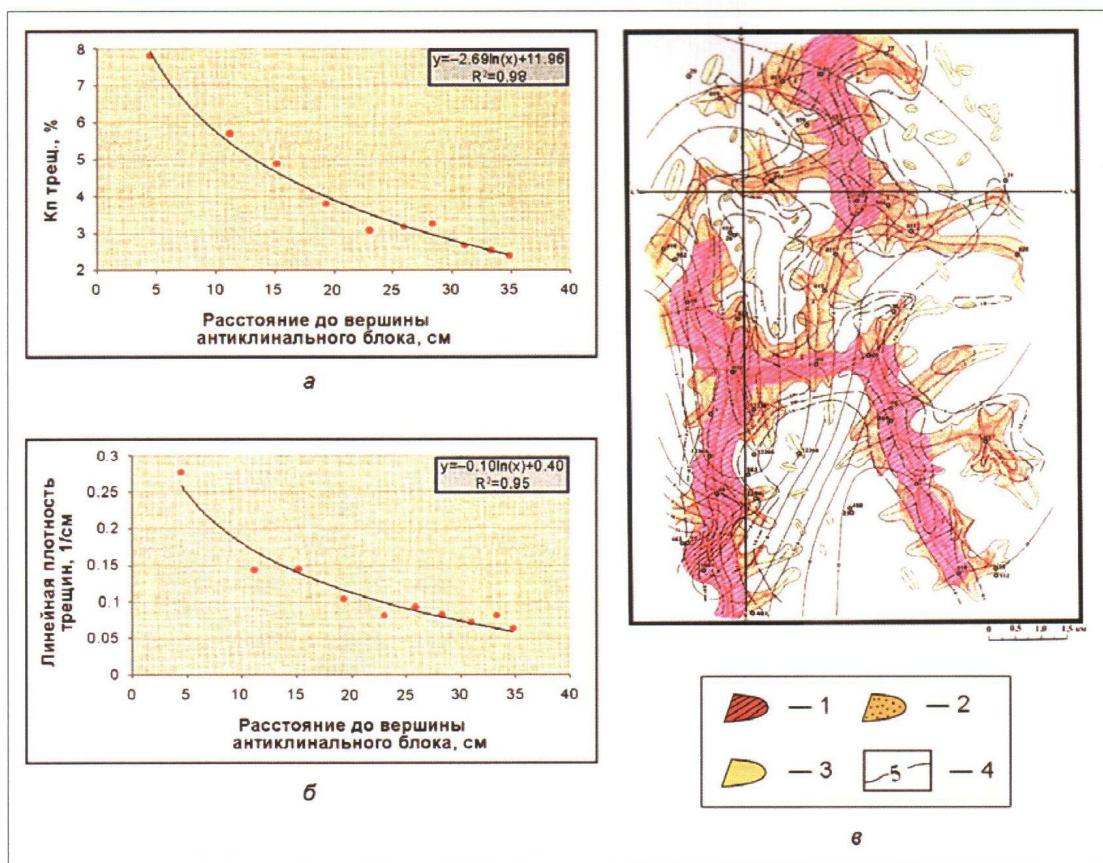


Рис. 11. Результаты обработки трехмерной тектоно-седиментационной модели с построенными зависимостями трещиноватой «пористости» (а) и линейной плотности трещин (б) от расстояния до вершины поднятия и пример структурно-прогнозной карты-схемы с выделенными на основе тектонофизического моделирования зонами различных категорий перспективности и суммарной мощности ИПП (в) (по [10, 16])

УВ залежей в бажено-абалакском комплексе. Сопоставление результатов прогноза, полученного на основе этой методики, и фактических данных испытаний скважин, пробуренных на бажено-абалакский объект, показало, что успешность прогноза изменяется от 63 % (Камынское месторождение) до 100 % (Ем-Еговская площадь).

ВЫВОДЫ

1. Оценка региональных перспектив нефтеносности отложений баженовской свиты осуществляется на основе результатов испытания интервала залегания свиты и представлений о механизме формирования в ней «каутигенного» коллектиора. С учетом этих данных выбраны следующие параметры и их критические значения:

— мощность свиты ≥ 20 м;

— содержание в ней ОВ ≥ 10 %;
— пластовая температура по кровле свиты ≥ 100 °C;
— мощность подстилающих и перекрывающих флюидоупоров ≥ 10 м;
— средние кажущиеся сопротивления отложений свиты ≥ 200 Омм;

— величина удельной нефтегенерации ≥ 8 у. е.

2. На основе выбранных критериев осуществлен региональный прогноз нефтеносности отложений баженовской свиты в пределах Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна, выделены земли различных категорий перспективности.

3. Результаты литолого-петрофизических исследований керна, отобранного из отложений баженовской и абалакской свит, свидетельствуют о том, что вторичные коллектиоры, возникающие в обеих свитах, имеют вторичный тектоногидро-

термальный механизм образования. Они формируются преимущественно в двух литологических типах пород, имеющих кремнистый и карбонатный составы (включая переходные между ними разновидности), которые получили название потенциально продуктивных пород.

4. Потенциально продуктивные породы кремнистого состава распространены преимущественно в отложениях баженовской свиты, а карбонатного — в абалакской.

5. В процессе аутогенного биогенного осадконакопления в эпиконтинентальном волжском бассейне непосредственное участие принимали организмы-фильтраторы, благодаря которым осуществлялось осадконакопление в виде многочисленных пеллет. Состав их зависит от соотношения минеральных и органических компонентов в составе планктона, которым они питались.

6. Силицыты, входящие в состав отложений баженовской свиты, скорее всего, сложены остатками раковинок диатомей, в значительной степени переработанных организмами-фильтраторами и попавшими в осадок в виде их пеллет, превратившихся со временем в микрокопролиты кремнистого состава.

7. Карбонатные породы, входящие в состав баженовской и абалакской свит, имеют преимущественно биогенное происхождение: карбонат-ион, входящий в их состав, образовался в «кислую» стадию разложения отмершего ОВ, содержащегося в иловом осадке. В эту стадию при его окислении выделялось значительное количество углекислого газа, который при растворении в морской воде превращался в углекислоту, которая, в свою очередь, затем диссоцииро-

вала, давая сначала бикарбонат, а затем карбонат-ионы, вошедшие в состав «биогенных» карбонатов.

8. Региональная распространенность карбонатного пласта КС, расположенного в кровельной части абалакской свиты, вероятно, обусловлена глобальными палеоклиматическими изменениями на рубеже абалакского и баженовского «времен», вызванными или прогибанием морского дна верхнеюрского моря (эпейрогенез), или потеплением палеоклимата, приведшим к таянию полярных льдов и, соответственно, повышению уровня мирового океана (эвстазия). Это, в свою очередь, вызвало нарушение карбонатного равновесия в верхнеюрском морском бассейне Западной Сибири и привело к отложению карбонатных осадков с участием «биогенной» углекислоты.

9. Локальный прогноз нефтеносности отложений баженовской и абалакской свит осуществляется в два этапа. На первом по данным ГИС в разрезах скважин выделяются потенциально продуктивные породы в их составе, определяется их суммарная мощность и площадное распространение. На втором с помощью комплексирования данных сейсморазведки и тектонофизического моделирования прогнозируются участки, в пределах которых в потенциально продуктивных породах развиты вторичные коллекторы тектоно-гидротермального происхождения.

10. Поскольку механизм и время образования вторичных коллекторов в отложениях обеих свит одинаковы, то при поисках в них УВ залежей их предлагается объединить в один бажено-абалакский комплекс.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуарди Ф.Г., Гуарди И.Ф. Формирование залежей нефти в аргиллитах баженовской свиты Западной Сибири // Геология нефти и газа. 1974. № 5. С. 36–40.
2. Добрынин В.М., Мартынов В.Г. Коллектор нефти в нефтематеринских глинистых толщах // Геология нефти и газа. 1979. № 7. С. 36–43.
3. Дорофеева Т.В., Лебедев Б.А., Петрова Т.В. Особенности формирования коллекторских свойств баженовской свиты Салымского месторождения // Геология нефти и газа. 1979. № 9. С. 20–23.
4. 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.
5. 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. Тюмень: СибНИИНП, 1982. С. 132–144.
6. Зубков М.Ю., Ершов В.А., Прямоносова И.А., Шакирова А.Х. Генерация битумоидов и формирование емкостного пространства в отложениях баженовской свиты // Научно-технический прогресс при поисках и освоении нефтяных и газовых месторождений Западной Сибири. Тюмень: ЗапСибНИГНИ, 1984. Вып. 63. С. 16–21.
7. Зубков М.Ю., Мормышев В.В. Вещественный состав и условия образования пород баженовской свиты Салымского месторождения // Литология и полезные ископаемые. 1987. № 2. С. 73–80.
8. Зубков М.Ю., Зубарева Н.М., Сайфуллина А.Х. Органическое вещество баженовской свиты // Геология нефти и газа. 1988. № 5. С. 19–25.
9. Зубков М.Ю. Критерии оценки региональных перспектив нефтеносности баженовской свиты // Нефтяное хозяйство. 1989. № 5. С. 26–30.

10. Зубков М.Ю., Бондаренко П. М., Трухан Я. А. и др. Прогноз углеводородных залежей в трещинных коллекциях баженовской и абалакской свит Восточно-Пальяновской площади на основе результатов сейсморазведки и тектонофизического моделирования // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО. Ханты-Мансийск, 2000. С. 174–187.
11. Зубков М.Ю. Литолого-петрофизическая характеристика отложений баженовской и абалакской свит центральной части Красноленинского свода (Западная Сибирь) // Геология и геофизика. 1999. Т. 40. № 12. С. 1821–1836.
12. Зубков М.Ю., Скрылев С. А., Бондаренко П. М. и др. Методы оценки перспектив нефтегазоносности баженовской и абалакской свит Западной Сибири // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО. Ханты-Мансийск, 1999. С. 206–222.
13. Зубков М.Ю. Состав, строение и условия образования пород баженовской и абалакской свит центральной части Красноленинского свода (Западная Сибирь) // Литология и полезные ископаемые. 2001. № 1. С. 37–48.
14. Зубков М.Ю., Пормайстер Я. А., Николюк В. И. Прогноз углеводородных залежей на основе тектонофизического моделирования на примере Славинского месторождения // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО. Ханты-Мансийск, 2004. Т. 1. С. 114–131.
15. Зубков М.Ю., Каган М. В., Вокин Р. Д. и др. Прогноз продуктивных зон в отложениях баженовской и абалакской свит Средненазымского лицензионного участка // Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала ХМАО — Югры. Ханты-Мансийск, 2008. Т. 2. С. 64–81.
16. Зубков М.Ю. Коллекторы в бажено-абалакском комплексе Западной Сибири и способы их прогноза // Геология нефти и газа. 2014. № 5. С. 58–72.
17. Зубков М.Ю. Минеральный и изотопный составы карбонатных пород и присутствующих в них трещин верхнеюрских отложений Западной Сибири // Горные ведомости. 2015. № 10. С. 40–58.
18. Зубков М.Ю. Особенности распределения урана в битуминозных отложениях баженовской свиты (Западная Сибирь) // Каротажник. 2015. № 5. С. 3–32.
19. Коллекторы нефти баженовской свиты Западной Сибири / Под ред. Т. В. Дорофеевой. Л.: Недра, 1983. 132 с.
20. 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.
21. Микуленко К. И. Перспективы нефтегазоносности отложений баженовской свиты центральных и южных районов Западно-Сибирской плиты. Новосибирск: СНИИГГиМС, 1974. Вып. 194. С. 37–41.
22. Нестеров И. И. Новый тип коллектора нефти и газа // Геология нефти и газа. 1979. № 10. С. 26–29.
23. Скоробогатов В.А., Краснов С. Г. Некоторые критерии перспектив нефтегазоносности баженовской свиты Западной Сибири // Геология нефти и газа. 1984. № 3. С. 15–19.
24. Условия формирования и методика поисков залежей нефти в аргиллитах баженовской свиты / Ф. Г. Гурари, Э. Я. Вайц, В. Н. Меленевский и др. М.: Недра, 1988. 200 с.
25. Халимов Э.М., Мелик-Пашаев В.С. О поисках промышленных скоплений нефти в баженовской свите // Геология нефти и газа. 1980. № 6. С. 1–10.