

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ПЕРСПЕКТИВ НЕФТЕНОСНОСТИ ОТЛОЖЕНИЙ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)

Зубков М. Ю.*

Аннотация. Обоснован набор критериев для осуществления регионального прогноза отложений баженовской свиты, на основании которых выполнен региональный прогноз её нефтеносности. Рассмотрены палеофациальные условия накопления кремнистых и карбонатных отложений (ППП) в отложениях баженовской и абалакской свит и механизм образования в них трещинных и трещинно-кавернозных коллекторов. На основе комплексирования данных сейсморазведки и тектонофизического моделирования предложен способ осуществления локального прогноза нефтеносности баженовской и абалакской свит, которые вследствие одинакового механизма и одновременного формирования в них коллекторов, предлагается объединить в единый бажено-абалакский комплекс.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время вновь отмечается повышенный интерес к отложениям баженовской свиты, что выражается в большом количестве публикаций, посвященных особенностям её вещественного состава, палеофациальным условиям, в которых она накапливалась, реконструкциям формирования в ней коллекторов, её петрофизическим, нефтегенерационным свойствам, выделению основных литологических типов, входящих в её состав, оценке геологических запасов УВ, содержащихся в ней, наконец, использованию данных ГИС для выделения различных литологических типов в её разрезе, включая породы-коллекторы, а также применению результатов сейсморазведки для выделения перспективных для поисков в ней УВ залежей.

К сожалению, подавляющее большинство этих новых публикаций являются довольно поверхностными и весьма слабо аргументированными. В них отсутствуют результаты глубокого анализа содержания работ, опубликованных ранее «классиками» баженовской тематики, а потому эти новые публикации эклектичны, в них очень часто присутствуют «открытия», о которых было известно 30 и более лет тому назад. Перечень цитируемых литературных источников в этих публикациях редко превышает 5–10 наименований, что подтверждает сказанное выше. Поэтому в настоящей работе в списке библиографии эти публикации не упоминаются, так как не содержат принципиально новой интересной информации, зато приводится достаточно обширный перечень работ исследователей, стоявших у истоков баженовской проблематики, особенно, касающейся оценки перспектив нефтеносности рассматриваемых отложений.

Самые первые, и не утратившие до настоящего времени важности, результаты исследований отложений баженовской свиты были получены и опубликованы коллективами авторов Главтюменгеологии (Ф.К. Салманов, Г.Р. Новиков, А.В. Тянь, Ф.З. Хафизов), ИГиГ СО АН СССР (В.А. Трофимук, А.Э. Конторович, Ю.Н. Карагодин, В.А. Захаров, В.Н. Сакс и др.), СНИИГГиМС (Ф.Г. Гулари, В.Н. Меленевский, Э.Я. Вайц, В.И. Москвин, Г.Н. Перозио, Е.А. Предтеченская, Д.И. Рудницкая, О.Ф. Стасова и др.), ЗапСибНИГНИ (И.И. Нестеров, И.Н. Ушатинский, О.Ф. Григорьева, А.В. Рыльков, О.Г. Зарипов, В.И. Белкин, Ф.Я. Боркун (трое последних продолжили затем свои исследования битуминозных

* ООО «ЗапСибГЦ»

отложений баженовской свиты в СибНИИНП) и др.), ЗапСибНИИГеофизики (В.В. Хабаров, О.В. Барташевич, Е.Н. Волков, О.М. Нелепченко, В.Х. Ахияров, С.В. Ампенков и др.), СибНИИНП (В.П. Сонич, К.С. Юсупов, М.Ю. Зубков, В.В. Мормышев, М.И. Сосланд и др.), ВНИИнефть (В.С. Мелик-Пашаев, А.Я. Фурсов, А.И. Степанов, Ю.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, Т.А. Федорова), ИГИРГИ (Н.А. Крылов, В.Е. Орел, С.И. Филина, М.В. Корж, М.С. Зонн, Т.Т. Клубова, Л.П. Климушина, А.М. Медведева и др.), ВНИИГАЗ (В.А. Скоробогатов) и многие другие.

В первой части настоящей публикации демонстрируются накопленные с 70-х по начало 90-х годов прошлого века старые «классические» представления о критериях нефтеносности отложений баженовской свиты (дополненные современными новыми данными), которые были использованы в этой публикации для регионального прогноза нефтеносности свиты. Более новые сведения, полученные автором настоящей публикации и другими исследователями в 90-е годы прошлого века и в настоящем тысячелетии, в комплексе с оригинальной методикой (на основе комплексирования данных сейсморазведки и тектонофизического моделирования) использованы для осуществления локального прогноза нефтеносности свиты, о чём будет сказано во второй части этой публикации. Причём, 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 (совместно). По этой причине при поисках в них углеводородных залежей автором настоящей публикации было предложено объединить их в единый бажено-абалакский нефтегазоносный комплекс [12, 13, 16].

РЕГИОНАЛЬНЫЙ ПРОГНОЗ НЕФТЕНОСНОСТИ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ

Региональный прогноз нефтеносности отложений баженовской свиты осуществлялся с использованием, главным образом, результатов её испытаний, а также исходя из существовавших в то время 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 предложенной Ф.Г. Гурари модели формирования в ней «листоватого» коллектора в результате флюидоразрыва тонкослоистых отложений генерируемыми керогеном нафтидами в них возникали аномально высокие пластовые давления (АВПД). Исходя из этой модели образования листоватого коллектора, были предложены следующие критерии для оценки региональных перспектив нефтеносности свиты.

Толщина баженовской свиты

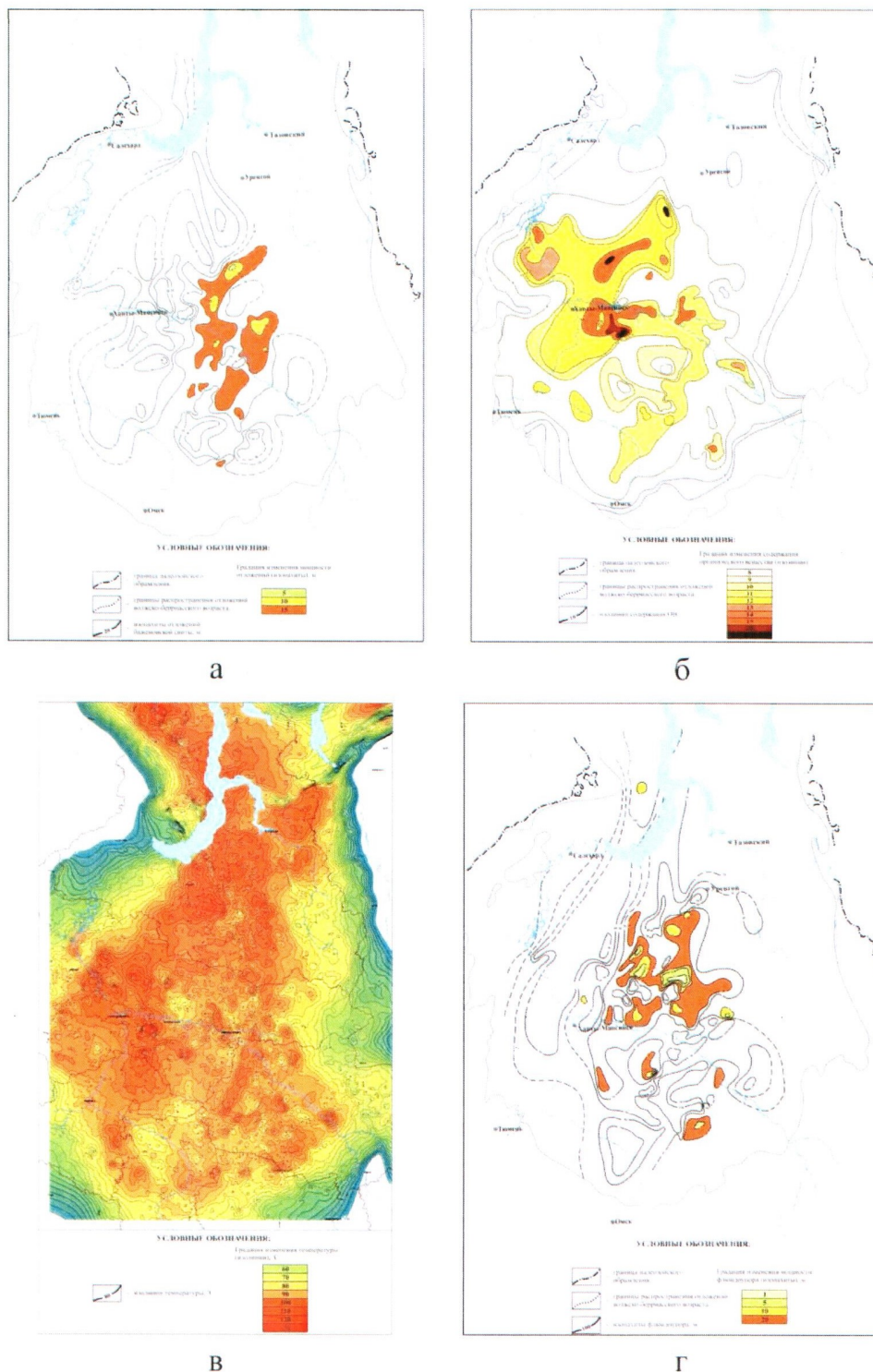
Исходя из предложенной модели, следует, что чем толще отложения свиты, тем, при прочих равных условиях, больше ими генерируется УВ, а, следовательно, выше их перспективность [1, 3–5, 9, 12, 16, 19, 22–24]. По данным результатов испытаний битуминозных отложений, из которых были получены притоки нефти,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

Анализ изменения толщины баженовской свиты в пределах Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции показал, что если принять в качестве её граничного значения обозначенные выше 20 м, то основная площадь её распространения является перспективной по этому признаку, за исключением нескольких локальных участков в центральной и северной частях Сургутского свода, южной и северной частей Нижневартовского свода, а также на ряде участков в центральной, южной и юго-восточной части плиты (рис. 1 а). Эти участки, скорее всего, какое-то время являлись 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 в этих участках [1, 3–6, 9, 12, 16, 19, 22–24].

Критерии оценки перспектив нефтеносности отложений баженовской свиты (Западная Сибирь)



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 принятую в качестве критической величину содержания ОВ (рис. 1 б). Исключением являются, главным образом, периферийные и северные части плиты, где концентрация ОВ в свите является невысокой из-за разбавления её 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 Краснотуркменского района, где происходила интенсивная генерация УВ за счёт термодеструкции исходного ОВ [6, 8].

Температура по кровле баженовской свиты

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

Мощность флюидоупоров, перекрывающих и подстилающих баженовскую свиту

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

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

Снизу отложения баженовской свиты, изолированы гораздо хуже, чем сверху. По этому критерию практически вся центральная и юго-восточная части Западно-Сибирской плиты являются бесперспективными (рис. 2 а). 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 Среднеvasюганского мегавала, в северной части Каймысовского свода, южной части Верхнедемьянского мегавала с прилегающими участками (см. рис. 2 а). 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 части плиты (Верхнедемьянский 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. 2 а). Граница между надёжной и слабой гидродинамической изоляцией отложений свиты снизу протягивается в субмеридиональном направлении вдоль западного склона Сургутского свода и совпадает с таковой распространения пласта Ю1 (см. рис. 2 а).

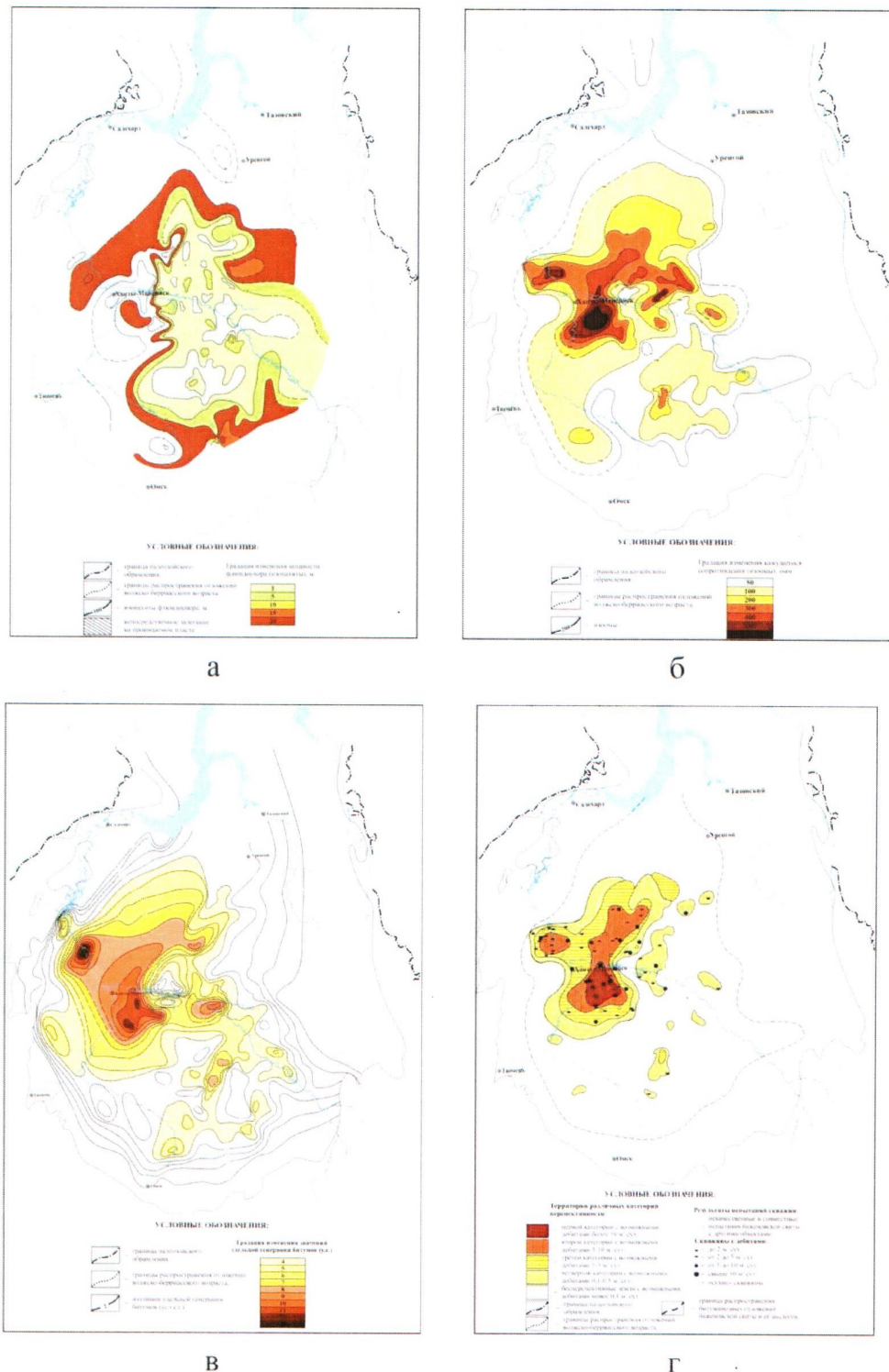


Рис. 2. Критерии, используемые для оценки региональных перспектив отложений баженовской свиты: а – мощности подстилающих свиту флюидоупоров; б – значения кажущегося сопротивления отложений свиты; в – величина удельной нефтегенерации отложений свиты; г – карта-схема региональных перспектив отложений баженовской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

Кажущиеся сопротивления

Величина КС отложений свиты определяется, главным образом, их вещественным составом, битуминозностью и содержанием остаточной воды [1, 2–5, 9, 12, 16, 19, 22–24]. 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 изоомы 100–150 Омм [4, 11]. По величине КС можно даже ранжировать площади по степени их битуминозности, а, следовательно, и перспективности (рис. 2 б). В пределах площадей с доказанной нефтеносностью свиты величина её 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, 1984).

Изменение Тпл по кровле свиты также в целом напоминает схему распределения значений КС (см. рис. 1 в и 2 б). Так температурной аномалии на Красноленинском своде соответствуют повышенные значения КС, отмечаемые в этом же районе. Территория Большого Салыма оконтуривается изотермой с максимальными значениями КС и Тпл в районе Салымского месторождения (см. рис. 1 в и 2 б). В соседнем Сургутском районе область низких значений КС (менее 200 Омм) совпадает с изотермой 80°C (см. рис. 1 в и 2 б). Из приведённых 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, используя данные о распределении ОВ в составе свиты и Тпл построить карту-схему удельной генерации нафтидов (рис. 2 в) [6]. Исходя из полученных данных, наиболее перспективными (с максимальными значениями удельной генерации нафтидов) являются западные районы плиты, в составе которых к максимально перспективным можно отнести Красноленинский свод и расположенные к востоку от него Назымскую и Галяновскую площади, западный склон Сургутского свода, район месторождения Большой Салым с прилегающими территориями, включая Северо-Демьянское (на юге), Приобское, Приразломное месторождения и далее на север – Тортасинский лицензионный участок, Камыньское и, наконец, Ай-Пимское месторождения (рис. 2 в).

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 счёт твёрдого керогена, превращающегося в жидкие и газообразные нафтиды. Можно использовать, построенную таким образом, карту вторичной пористости в качестве ещё одного критерия для оценки перспектив её нефтеносности, как это было сделано в публикациях [6, 9]. Однако она будет очень похожа на рассмотренную выше карту удельной нефтегенерации, поскольку оба эти процесса (генерация нафтидов и формирование вторичной пористости за счёт керогена) взаимосвязаны. Потому величина вторичной пористости здесь не используется в качестве ещё одного критерия для оценки перспектив нефтеносности баженовской свиты.

Региональные перспективы нефтеносности баженовской свиты, выделение земель различных категорий

Путём наложения друг на друга, всех полученных карт-схем с выбранными в качестве критериев семью параметрами, получается обобщённая сводная прогнозная карта-схема региональных перспектив баженовской свиты (рис. 2 г) [4, 12]. Земли первой категории, отнесённые к наиболее перспективным, характеризуются полным совпадением в их границах всех выбранных в качестве критериев параметров (см. рис. 2 г). Предполагается, что в их пределах из скважин, вскрывших верхнеюрские отложения, можно бу-

дет получить наиболее высокодебитные притоки. Эти земли в общих чертах совпадают с границами месторождения 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 Краснотенинского свода (см. рис. 2 г) [4, 12]. В границах этих территорий возможно получение высоко- и 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. 2 г) [3, 12].

Наконец, земли четвертой категории—это площади, в пределах которых критические значения у трёх 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. 2 г). Отмечаются небольшие по площади участки, принадлежащие к этой категории земель, расположенные 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. 2 г). 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. 2 г).

В завершение рассмотрения критериев региональных перспектив нефтеносности отложений баженовской свиты отметим, что помимо механизма формирования коллекторов путём 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 декларативный, нежели прогнозный характер [20, 21, 25].

Потенциально продуктивные пласты (ППП)

Прежде чем перейти к рассмотрению критериев, используемых с целью локального прогноза нефтеносности отложений баженовской свиты, попробуем разобраться какие литологические типы пород, входящие в её состав являются коллекторами и каков механизм формирования этих коллекторов. Напомним, 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 или сокращенно ППП [11–13, 15, 16].

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

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

Радиоляриты—это породы, сложенные раковинками радиолярий, содержание кремнезёма в которых нередко достигает 90% и даже больше. Содержание глинистых минералов в них не превышает 3–5%, а керогена—1–2%. Часто радиоляриты в большей или меньшей степени замещаются карбонатными минералами. В тех случаях, когда они полностью оказываются замещёнными карбонатами, образуются карбонатные ра-

диоляриты. Здесь речь идёт именно о радиоляритах, то есть о кремнистых породах. В радиоляритах, в тех случаях, когда между раковинками радиолярий сохраняется первичная пористость, отмечается псевдогранулярная ёмкость. Действительно, раковинки радиолярий, полностью сложенные кремнезёмом, имеют размеры, соответствующие, в среднем, крупноалевритовой и мелкозернистой песчаной гранулометрическим фракциям, а потому фактически ничем не отличаются от обычных гранулярных коллекторов. В псевдогранулярной ёмкости, 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) силицитах люминесценция полностью отсутствует (рис. 3 в). На спектрах ЯМР поперечной релаксации (T_2) силицитов и радиоляритов, насыщенных керосином, хорошо видно, что в первых присутствуют лишь чрезвычайно мелкие поры, заполненные связанным флюидом, причем их суммарная ёмкость составляет всего около 3%, в то время как в радиоляритах присутствуют довольно крупные поры, заполненные свободным флюидом и их общая пористость превышает 11% (рис. 3 г).

Гидротермальные силициты

Из самого 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. 3 д). Исходными отложениями, по которым образуется рассматриваемый тип коллектора, являются радиоляриты, частично замещённые карбонатными минералами (рис. 3 е). По зонам дробления гидротермы проникали в такие частично карбонатизированные радиоляриты и растворяли карбонатный материал. В результате этого процесса образовывалась вторичная ёмкость, в которой впоследствии по мере их остывания, ощелачивания и насыщения легко растворимым биогенным кремнезёмом, образовывались многочисленные мелкие великолепно огранённые кристаллы гидротермального кварца (см. рис. 3 д). Вторичная ёмкость, 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]. В отличие от пород кремнистого состава, которые очень слабо растворяются в кислых гидротермах, карбонаты, наоборот, легко выщелачиваются кислыми гидротермальными флюидами, а потому в них под действием тектонических напряжений и последующей гидротермальной проработки образуются не только трещины, но и каверны выщелачивания, имеющие размеры до первых сантиметров в диаметре (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 чёрного цвета, часто имеющих твёрдую и даже хрупкую консистенцию, ассоциирующих с мелкими (ранняя генерация) и крупными (поздняя генерация) прекрасно огранёнными кристаллами кварца (рис. 5 а, б). На поверхности трещин и каверн часто кроме кварца присутствуют отдельные кристаллы и их агрегаты барита, кальцита, доломита (рис. 5 в). Встречаются трещины в радиоляритах или силицитах, на поверхности которых образовались даже кристаллы бариевого полевого шпата (рис. 5 г). 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 растворённым в гидротермальном флюиде барием, образует многочисленные оптически ориентированные кристаллы барита (рис. 5 д). По мере охлаждения гидротермального раствора, из него кристаллизуются мелкокристаллические агрегаты ангидрита (рис. 5 е). Завершается гидротермальное минералообразование выделением из

остывающих гидротермальных растворов сульфидов железа, серебра и никеля (рис. 6).

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

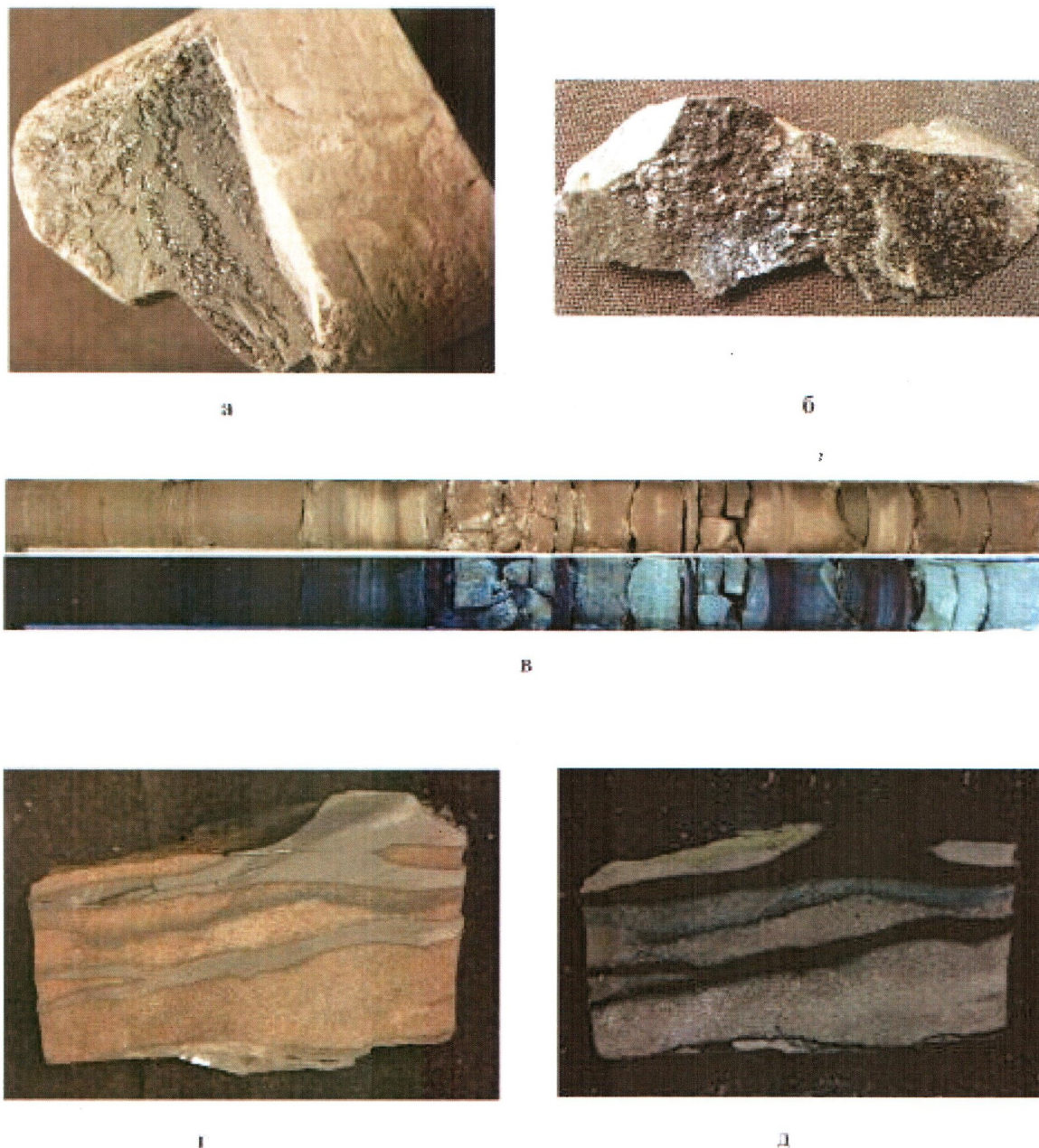
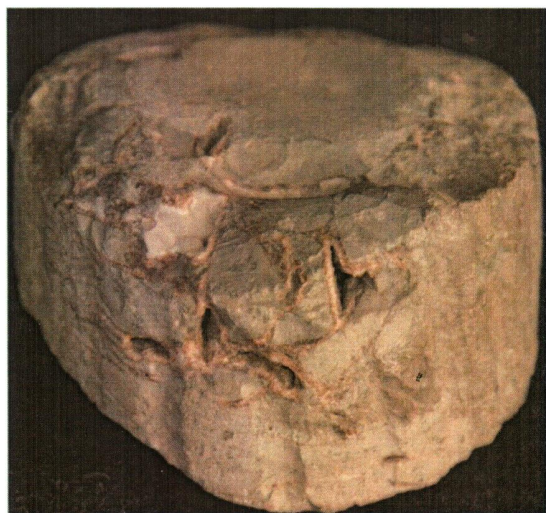


Рис. 3. Фотографии полноразмерных образцов кремнистого состава (а-в), спектр ЯМР силицита и радиоларита (г) и снимок РЭМ микрокавернозного участка в гидротермально изменённом изначально частично карбонатизированном радиоларите с многочисленными микродрузами кварца (д), исходный кремнисто-карбонатный радиоларит (е); отложения баженовской свиты Маслиховское (а, б), Тортасинское (в, г), Верхне-Салымское (д) и Приобское (е) месторождения (по [16] с добавлениями)



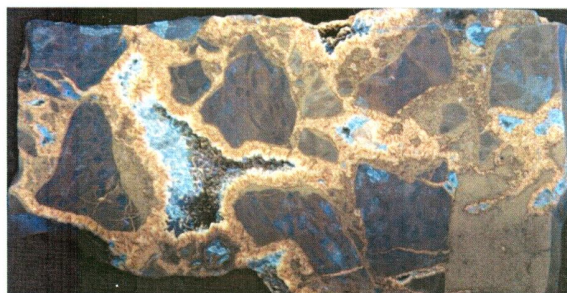
а



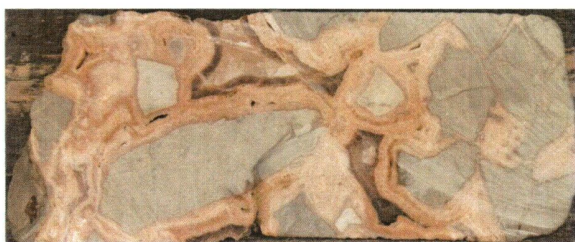
б



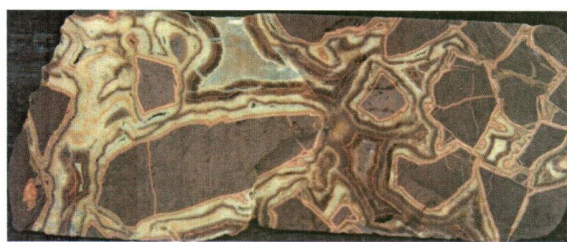
в



г



д



е

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

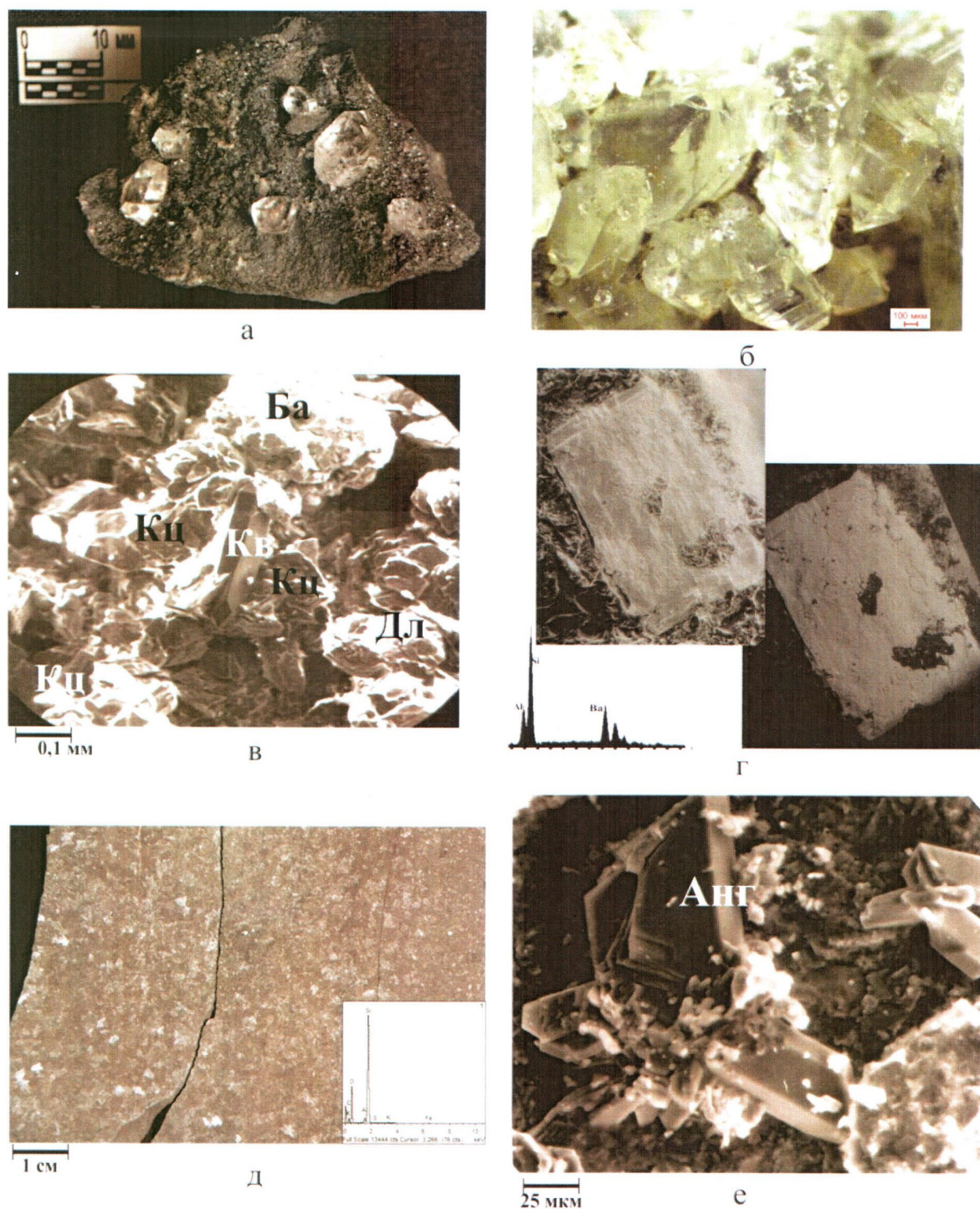


Рис. 5. Фотографии поверхностей трещин и каверн в карбонатах и силицитах, отобранных из отложений баженовской и абалакской свит с эпигенетическими минералами гидротермального происхождения: а–кристаллы кварца на поверхности трещины, покрытой черным метаморфизованным битумом; б–микродрозы кварца; в –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

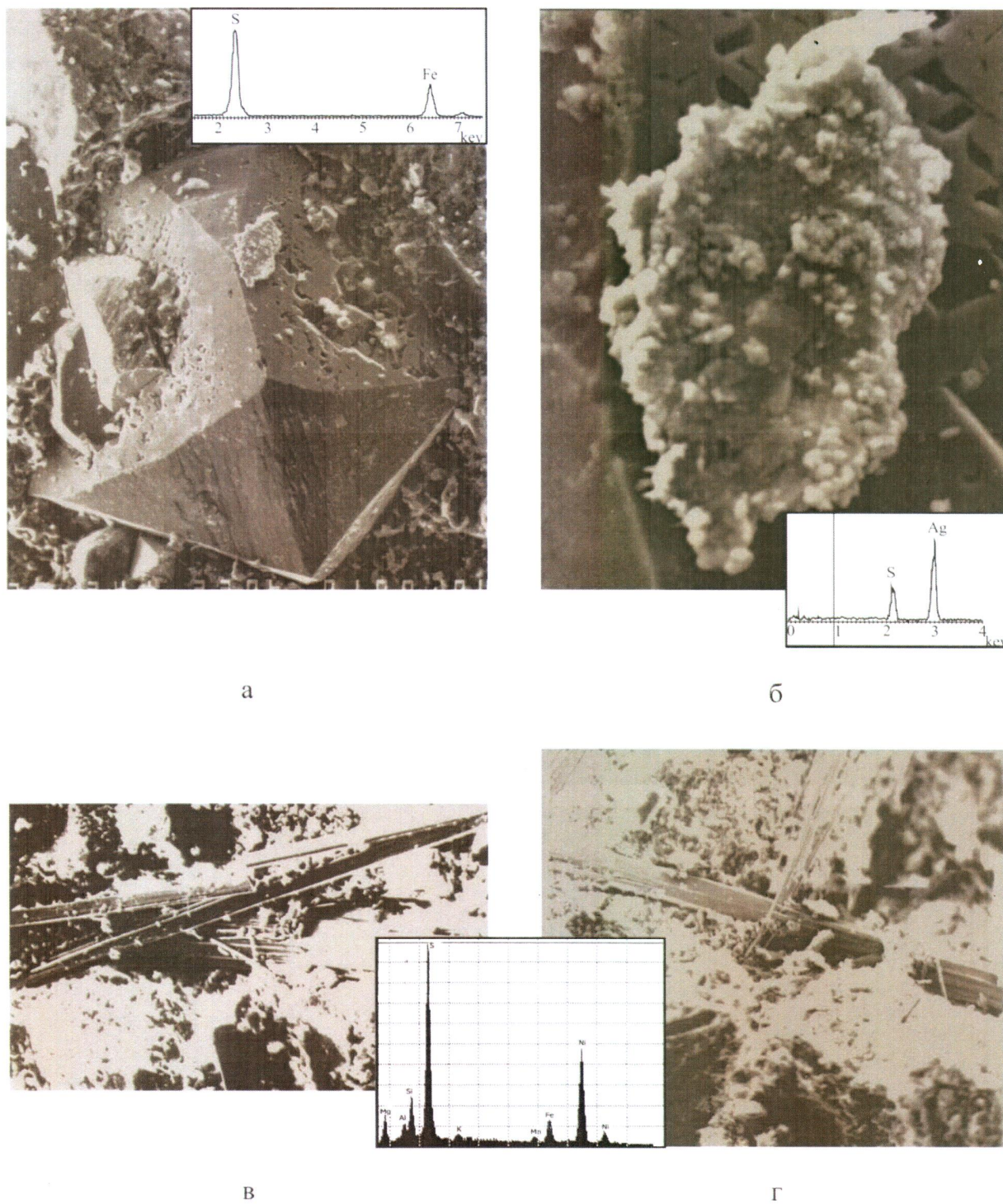
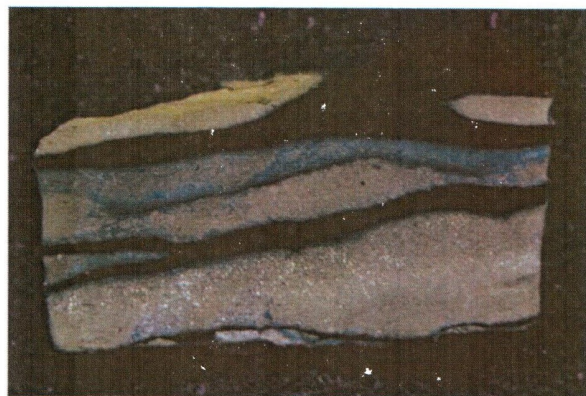


Рис. 6. Снимки РЭМ эпигенетических гидротермальных сульфидов: а – поликристаллические агрегаты пирита и его элементный спектр; б – сульфид серебра (акантит), расположенный на поверхности кристалла пирита, представленного на предыдущем снимке (а); в и г – длинные тонкие кристаллы сульфида никеля (миллерит) и его элементный спектр, расположенный между снимками; даниловская свита, Узбекское (а, б) и Северо-Даниловское (в, г) месторождения. Увеличения: а – 240×; б – 1600×; в – 260×; г – 200×

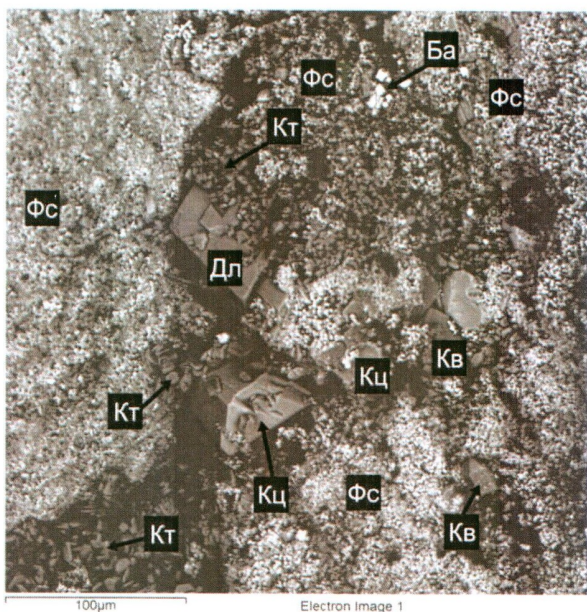
Во-первых, это копролиты, имеющие фосфатный и/или карбонатный составы, характеризующиеся трещинно-псевдопоровой структурой пустотного пространства [16]. Толщина копролитовых прослоев в среднем составляет всего 1–3 см (рис. 7 а, б), поэтому они, не смотря на присутствие в них подвижных УВ, не представляют практического интереса для промышленного извлечения УВ. При больших увеличениях видно, что сами фосфоритовые копролиты сложены микроглобулярным апатитом, а в поровом пространстве между копролитами присутствуют многочисленные эпигенетические минералы гидротермального происхождения, представленные агрегатами каолинита (диккита), кристаллами кварца, доломита, кальцита и барита (рис. 7 в, г). Постоянное присутствие серы в составе элементных спектров, полученных с поверхности минералов, свидетельствует о наличии на них плёнок серосодержащих битумов (тиобитумов).



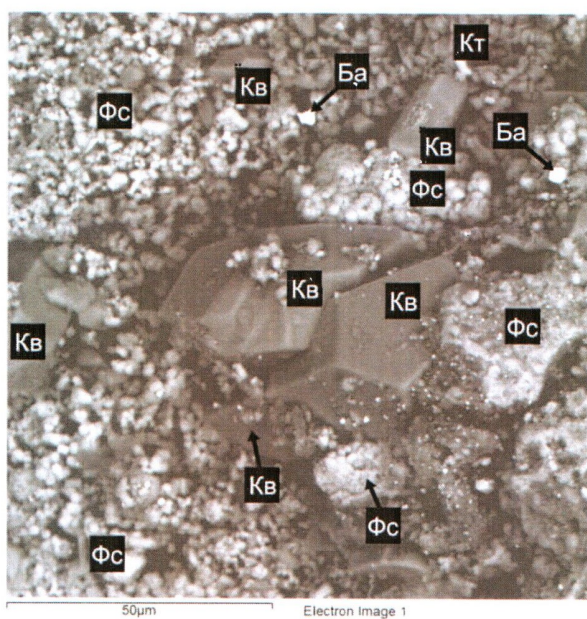
а



б



в



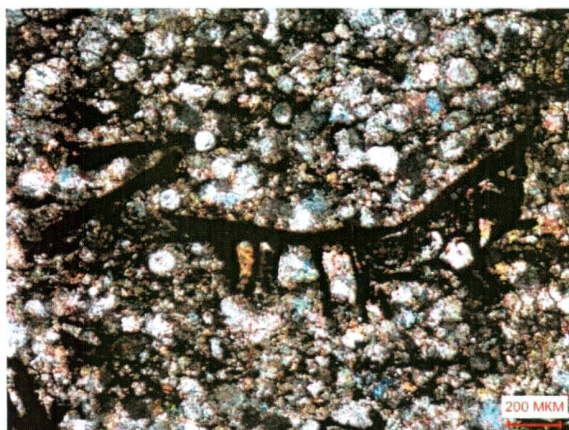
г

Рис. 7. Фотографии полноразмерных образцов керна фосфоритовых копролитов в белом (а) и ультрафиолетовом (б) свете и снимки РЭМ с эпигенетическими гидротермальными минералами, присутствующими в их поровом пространстве (в, г); баженовская свита, Пальяновская площадь; сокращения: Фс – фосфорит; Кт – каолинит; Кв – кварц; Дл – доломит; Кц – кальцит; Ба – барит

Во-вторых, доломитовый радиолярит с небольшой примесью кальцита и фрамбоидального пирита, остатками незамещённого карбоната кремнезёма и довольно высоким содержанием ихтиодетрита (около 10–12%), имеющего почти чёрный цвет (рис. 8 а, б) [18]. Толщина прослоя, представленного описываемой породой составляет всего 30–35 см. Вторичная ёмкость 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].



а



б



в



г

Рис. 8. Фотографии петрографических шлифов образцов, отобранных из двух высокорadioактивных продуктивных интервалов в составе отложений баженовской свиты (скв. 554Э, Салымское месторождение): доломитовый радиолярит без (а) и с (б) анализатором; «пиритовый» образец в проходящем (в) и отраженном (г) свете; красное на снимке в-смола (по [18])

В-третьих, «пиритовый» пласт, имеющий мощность около 1 м (рис. 8 в, г). Он 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 ке-

ритоподобным окисленным с высоким содержанием серы метаморфизованным тиобитумом, 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 ёмкость в нём возникла, главным образом, за счёт 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 описанных выше продуктивных пласта 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 своём поровом пространстве УВ, наибольший практический интерес имеют ППП, представленные кремнистыми, карбонатными и переходными между ними разновидностями, а именно, силициты (включая радиоляриты) и карбонатные породы (в том числе карбонатные радиоляриты). А как образовались эти разновидности пород?

В публикациях, посвященных палеогеографии, модели экосистемы и условиям осадконакопления верхнеюрских отложений (Захаров В. А., Гурари Ф. Г., Сакс В. Н., Брадучан Ю. В., Булынникова С. П., Гольберт А. В., Лебедев А. И., Шурыгин Б. Н., Никитенко Б. Л., Сапьяник В. В., Алейников А. Н., Могучева Н. К., Предтечинская Е. А., Панченко И. В., Немова В. Д. и др.), приводятся лишь самые общие сведения о палеогеографических и палеофациальных условиях отложения верхнеюрских осадков в преимущественно бореальном эпиконтинентальном морском бассейне. Однако, в этих публикациях отсутствуют сведения о том, как именно образовались описанные выше ППП, представленные силицитами (включая радиоляриты) и карбонатными породами.

Поэтому в настоящей публикации рассмотрим более детально условия и способы образования упомянутых выше ППП, с которыми связаны основные объёмы извлекаемых запасов УВ в баженовской и абалакской 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 лёгких мелких минеральных и органических частиц и, соответственно, обогащению осадка более крупными и тяжёлыми 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. 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 придонных течений, во-вторых, их скорости и, в-третьих, длительности существования. Поэтому разновозрастные 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 разновозрастных 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 аути-

генное биогенное происхождение. Причём организмы, жившие в палеобассейне, принимали самое непосредственное участие в процессе осадконакопления [7].

Действительно, как было установлено учёными-океанологами для современных осадков, мельчайшие планктонные организмы фильтраторы (рачки-эвфаузииды, коловратки и др.) способны профильтровать объём эпиконтинентального бассейна за несколько суток. В процессе фильтрации (кормления) эти организмы излишки взвеси (фекалии) отправляют на дно в виде студнеобразных капелек (пеллет). 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]. Именно благодаря деятельности организмов фильтраторов морская вода в волжском бассейне сохраняла чистоту и прозрачность, что, в свою очередь, способствовало созданию эвтрофной пелагической экосистемы в нём. Сами эвфаузииды или вернее их панцири не сохранились, так как хитин, составляющий 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, описанными выше, имеющими микрозернистый кремнистый состав (рис. 9 а, б). То есть силициты—это, по сути, микрокопролиты, имеющие преимущественно кремнистый состав. Если их изучать при ещё больших увеличениях, используя для этого РЭМ, то можно отчётливо рассмотреть, что микрокопролиты, состоят из мелких сферических образований, имеющих размеры в среднем 50–80 мкм (рис. 9 в). При ещё больших увеличениях видно, что сами сферические образования сложены очень мелкими плохо огранёнными микроскопическими кристаллами кварца, имеющими длину около 5–10 мкм (рис. 9 г). Эти микроскопические кристаллики кварца можно рассмотреть и на фотографии петрографического шлифа, полученной в скрещенных николях (см. рис. 9 б).

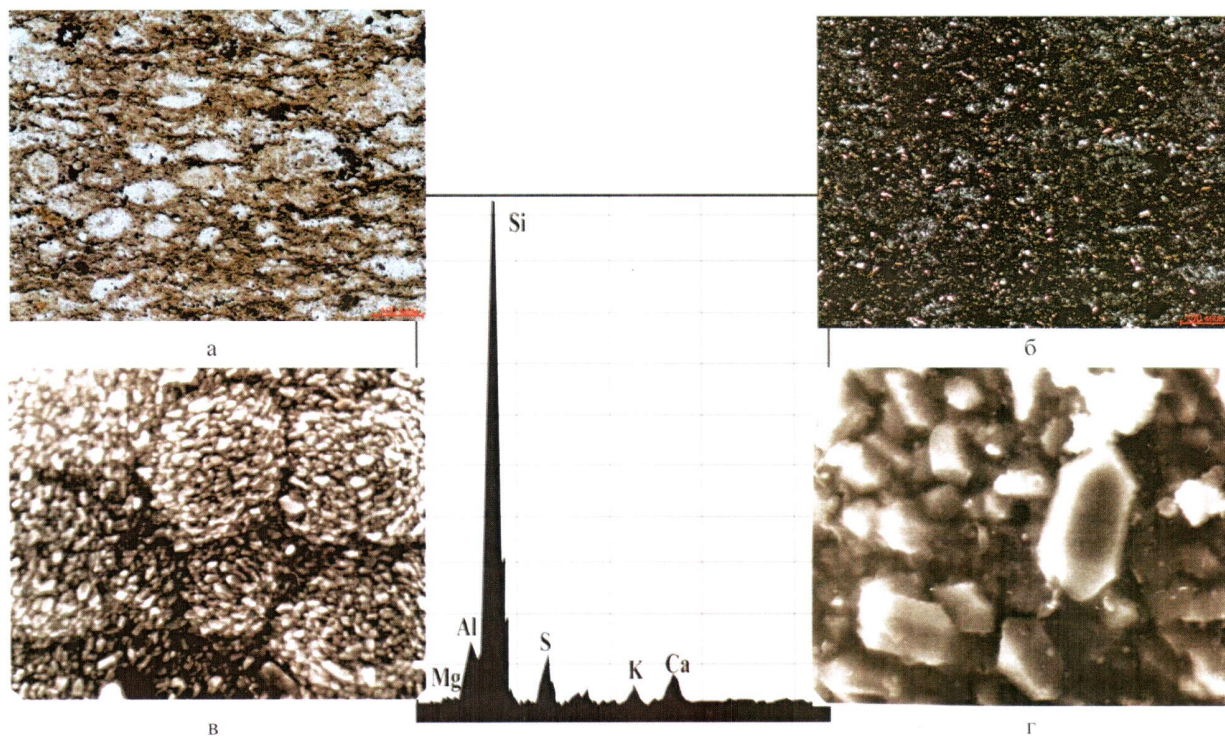


Рис. 9. Фотографии петрографического шлифа, снятые без (а) и с (б) анализатором и снимки РЭМ (в, г) с результатами элементного анализа силицита; баженовская свита, Тортасинское (а, б) и Маслиховское (в, г) месторождения; увеличение: в - 400×; г - 2000×

Исходя из результатов элементного анализа, полученного с площади снимка РЭМ, можно заключить, что помимо собственно биогенного кремнезёма в составе микропролитов в небольшом количестве присутствуют глинистые минералы (гидрослюда), примесь доломита и плёночный серусодержащий битум, выступающий, отчасти, в качестве цемента для микрокристаллов кварца (см. рис. 9 г).

Что служило пищей для эвфаузиид и других фильтраторов, пеллеты (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 объём кремнистого материала в осадке. Кроме того, они имеют довольно крупные размеры, сопоставимые и даже превышающие таковые пеллет и сравнительно прочный скелет, который сохраняется в той или иной степени, чего мы не наблюдаем в составе микропролитов (см. рис. 9). Поэтому необходимо искать автотрофные планктонные организмы, имеющие кремнистый скелет, способные активно размножаться, причём в достаточно большом объёме.

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, Сакс, 1980). Но основная часть, первых всё же имела не минеральный скелет (панцирь), а органический (сложенный полисахаридами), а губки были встречены лишь в западной части волжского бассейна (главным образом в пределах Шаимского НГР). Поэтому можно предположить, что основным источником биогенного кремнистого материала служили автотрофы – диатомовые водоросли, несмотря на то, что, как известно, 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 кремнезёма превратился в многочисленные плохо огранённые мелкие кристаллы кварца (см. рис. 9 б-г).

В прозрачных петрографических шлифах при внимательном изучении других литологических типов пород, например, глинисто-кероген-кремнистого состава, также можно отметить присутствие многочисленных пеллет, которые в этом случае имеют не округлую или линзовидную, а плоскую (блинчиковидную) форму, так как, не обладая прочным (чисто кремнистым) каркасом, рассматриваемые пеллеты, обогащенные глинистым и органическим материалами, легко деформировались под действием веса перекрывающих осадков.

Эвфаузииды и другие организмы фильтраторы в силу своей физиологии не имели возможности выбирать, что им употреблять в пищу, а что нет. Поэтому всё, 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 микропролиты. Следовательно, при таком механизме осадкообразования его интенсивность зависит, главным образом, от биопродуктивности различных участков верхне-волжского бассейна, поэтому площади с повышенной плотностью планктонных организмов фиксировались 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 же самих осадков, как уже отмечалось выше, зависит от соотношения в планктонной взвеси биогенного и терригенного материалов [7].

Что касается источника кремнезёма в верхнеюрском эпиконтинентальном бассейне, то терригенных обломков кварца и алюмосиликатов, к тому же обладающих слабой растворимостью в морской воде, явно недостаточно, тем более что, как известно, 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 растворённой в них кремнекислотой, на что в своих публикациях обращали внимание С.Г. Неручев, 1982, Ф.Г. Гурари, 1988, М.Ю. Зубков, 2001 и вулканические выбросы (пепел). Действительно, по данным И.В. Лучицкого, в верхнеюрское время на окружающей верхнеюрский бассейн территории существовало несколько крупных палеовулканов, которые 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 раковин.

Карбонатные отложения. Упомянутые выше, а также и другие исследователи, изучавшие отложения баженовской и абалакской свит, как правило, не объясняют механизм образования карбонатных осадков в этих отложениях. Говорится лишь о маломощных (2...10 мм) слоях ракушников, сложенных обломками раковин донных фильтраторов (бухий, иноцерамы), реже ещё более тонких прослойках (1...3 мм), представленных сплюснутыми раковинами аммонитов и отдельными рострами белемнитов.

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

Выше уже давалось объяснение тому, как образовались вторичные (тектонно-гидротермального типа) коллекторы в карбонатных пластах. Но как сформировались сами карбонатные породы? Ведь волжский эпиконтинентальный бассейн, как уже отмечалось выше, большинством исследователей относится к преимущественно бореальному типу, пусть даже и семиаридному в его южной половине. В таких условиях хемогенные карбонатные отложения не накапливаются, а органогенные (ракушняки), как мы убедились выше, имеют микроскопическую мощность.

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]. Причём, чем ближе к центру эпиконтинентального морского бассейна отложились карбонатные пласты, тем выше концентрация в них биогенного углерода (чрезвычайно короткий аутигенный углеродный цикл по Э.М. Галимову, 1968) [17].

Отложение рассматриваемых карбонатов происходило 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, слабощелочной реакцией морской воды, что даёт возможность нейтрализовать образующиеся в процессе диссоциации угольной кислоты протоны в соответствии с простейшей реакцией:



а, во-вторых, практически неограниченным объёмом буферной ёмкости морского бассейна, способного нейтрализовать образующиеся вследствие приведённых выше реакций диссоциации угольной кислоты ионы водорода (уравнения 1–3).

Таким образом, вследствие увеличения в иловой воде концентрации карбонат ионов происходит сдвиг карбонатного равновесия в сторону образования кальцита:



где атом углерода имеет именно биогенное происхождение, что подтверждается низким содержанием в составе этих карбонатов тяжелого изотопа углерода [17].

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 (изотопно лёгкий) углерод, в отличие от ракушняка, сложенного неорганическим (хемогенным) карбонатом, извлечённым морскими организмами (двустворками, аммонитами, белемнитами, кокколитами и др.) непосредственно из морской воды [17].

Большее площадное 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 образовывалось большое количество биогенного CO_2 , который в соответствии с вышеприведенными уравнениями (1–4) 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). В аноксидных условиях образовавшиеся силициты и радиоляриты 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 всё вышесказанное справедливо, то прогноз распространения карбонатных ППП сводится к палеогеографическим реконструкциям, с помощью которых можно бы было выделить, в первую очередь, участки, в пределах которых в осадке существовали оксидные условия. Но это достаточно сложная задача. Кроме того, сами карбонатные породы отличаются и составом и текстурно-структурными особенностями, что свидетельствует о различных палеогеографических условиях, в которых они образовывались. Поэтому выделение участков с оксидными условиями в иловом осадке лишь необходимое, но далеко недостаточное условие. Действительно, карбонаты, встречающиеся, 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 средне кристаллических зёрен, либо крупных («перьевидных») кристаллов, наконец, карбонатизированных пеллет или оолитов, имеющих сложное (двух или даже трёхслойное зональное строение). Наконец, имеются ритмично-зональные карбонаты, похожие по внешнему облику на биостромы с толщиной отдельных слойков от десятых долей до 1 мм. Основным глинистым минералом, присутствующим в этих (биостромных) карбонатах, является глауконит [13].

Широкое площадное распространение самого верхнего и наиболее мощного карбонатного пласта, расположенного в кровельной части абалакской свиты, из которого часто получают высокодебитные притоки УВ и обозначенного 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 (эпейрогенез), либо наблюдалось глобальное потепление климата, вызвавшее таяние полярных льдов и, соответственно, приведшее к поступлению огромных масс более холодных вод с севера (эвстазия), что нарушило существовавшее в бассейне карбонатное равновесие и стимулировало отложение преимущественно биогенных карбонатов в виде упомянутого выше пласта КС₁, имеющего региональное распространение.

ЛОКАЛЬНЫЙ ПРОГНОЗ НЕФТЕНОСНОСТИ ОТЛОЖЕНИЙ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ

Локальный прогноз нефтеносности верхнеюрских отложений осуществляется путём 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 распространённость в границах изучаемой территории.

Во-вторых, осуществить прогноз зон дробления, в пределах которых в ППП формируются вторичные коллекторы 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 распространённость 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, слабо радиоактивные породы), используя комплекс ГИС, включающий ГК, ГТКп, 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 скв. 3000Р в пределах Назымской площади, представлен на рис. 10.

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 их пределах 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 её помощью, подробно изложены в ряде публикаций (Зубков, Бондаренко, Пормейстер и др., 1997, 1999, 2000, 2001, 2002, 2004, 2005, 2008, 2014), например, [10, 12, 15, 16], 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. 11 а). 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 изоклин (чёрные линии на фотографии, рис. 11 б) 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 траекто-

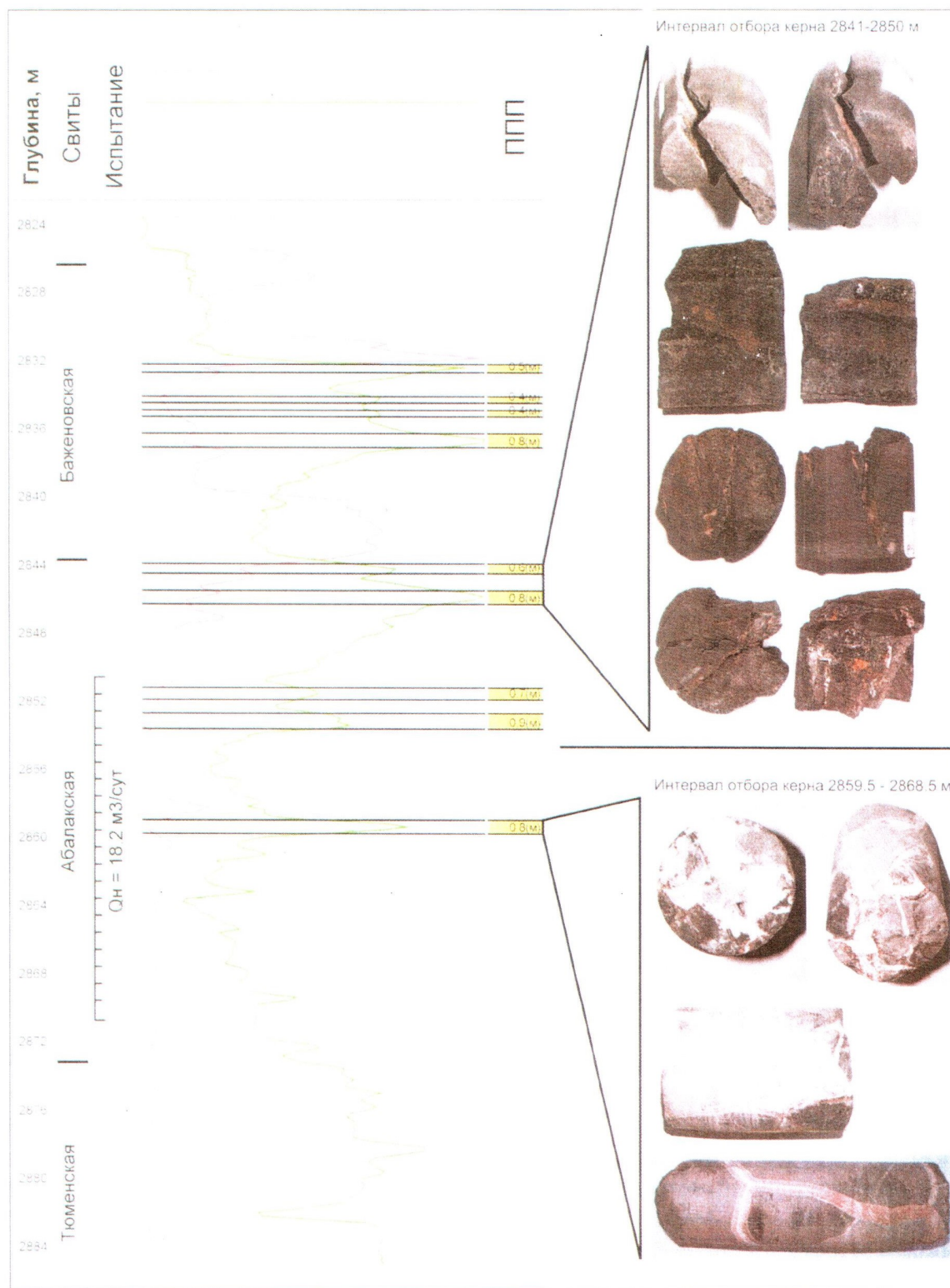


Рис. 10. Пример выделения потенциально продуктивных пластов в составе отложений баженовской и абалакской свит по данным ГИС, Назымская площадь, СКВ. 3000Р (по [15])

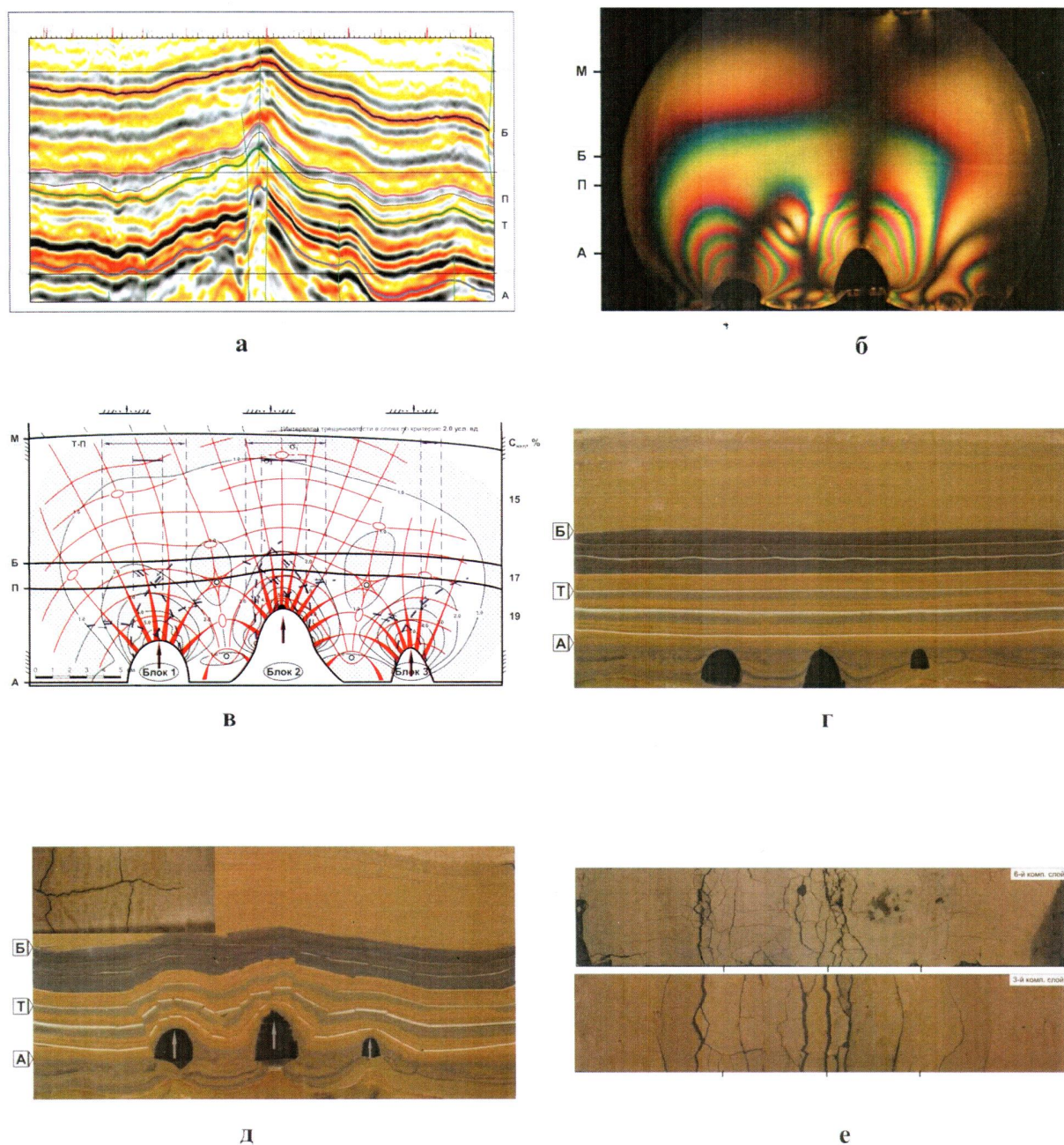


Рис. 11. Двумерное тектонофизическое моделирование на основе результатов сейсморазведки: а – базовый сейсмодновременный разрез, выбранный для моделирования опико-поляризационным (б, в) и тектоно-седиментационным (г–е) методами (по [14] с изменениями), пояснения в тексте

рии прогнозируемых трещин, оценивается их плотность и высота распространения (рис. 11 в).

Второй – тектоно-седиментационный, осуществляется в двух вариантах: в двумерном (рис. 11 г-е) и трёхмерном (рис. 12). Для этого в боксах, заполненных водой, в соответствии с геологическим строением осадочного чехла рассматриваемого района осуществлялось осаждение глинистого, песчаного, алевроитового материалов, моделирующих осадочный разрез этого района. Компетентные пласты, имитирующие ППП, моделировались слоями цемента или алебастра белого цвета (рис. 11 г). В соответствии с палеотек-

тонической реконструкцией осуществлялось моделирование роста поднятий, изучались закономерности перемещения осадочного материала, формирования зон трещиноватости, образующихся вследствие их роста (рис. 11 д). 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. 11 д, врезка слева вверх, рис. 12 е).

После завершения эксперимента модель послойно разбиралась, осуществлялось тщательное препарирование компетентных слоёв (рис. 11 е, 12 в-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. 13 а, б) [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 её пределах зон различных категорий перспективности, и размещались проектные скважины в самых перспективных участках изученной территории (рис. 13 в).

С помощью описанной методики были обработаны геолого-геофизические и сейсмические данные по 10 площадям с целью прогноза 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 % (Камыньское 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 «аутигенного» коллектора; на основе этих данных выбраны следующие параметры и их критические значения: мощность свиты ≥ 20 м; содержание в ней ОВ $\geq 10\%$; пластовая температура по кровле свиты ≥ 100 °С; мощность подстилающих и перекрывающих флюидоупоров ≥ 10 м; средние кажущиеся сопротивления отложений свиты ≥ 200 ом; величина удельной нефтегенерации ≥ 8 у.е.

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

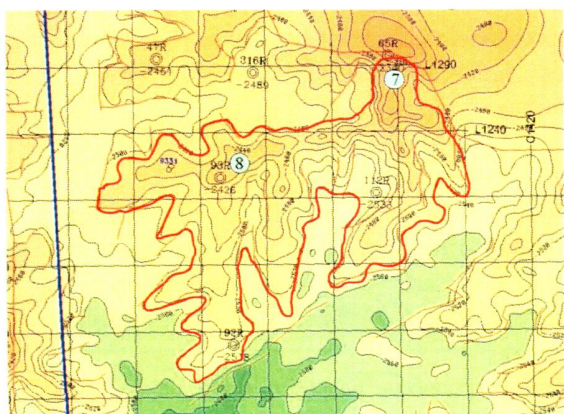
3. Результаты литолого-петрофизических исследований керн, отобранного из отложений баженовской и абалакской свит свидетельствуют о том, что вторичные коллекторы, возникающие в обеих свитах, имеют вторичный тектоно-гидротермальный механизм образования, причём формируются они преимущественно в двух литологических типах пород, имеющих кремнистый и карбонатный составы (включая переходные между ними разновидности), которые получили название потенциально продуктивных пород или сокращенно ППП.

4. ППП кремнистого состава распространены преимущественно в отложениях баженовской, а карбонатного — в абалакской свитах.

5. В процессе аутигенного биогенного осадконакопления в эпиконтинентальном волжском бассейне непосредственное участие принимали организмы фильтраторы, благодаря которым осуществлялось осадконакопление в виде многочисленных пеллет, состав которых зависел от соотношения минеральных и органических компонентов в составе планктона, которым они питались.

6. Силициты, входящие в состав отложений баженовской свиты, скорее всего, сложены остатками раковин диатомей, в значительной степени переработанных организмами фильтраторами и попавшими в осадок в виде их пеллет, превратившихся со временем в микропролиты кремнистого состава, сложенные микроскопическими плохо огранёнными кристаллами кварца.

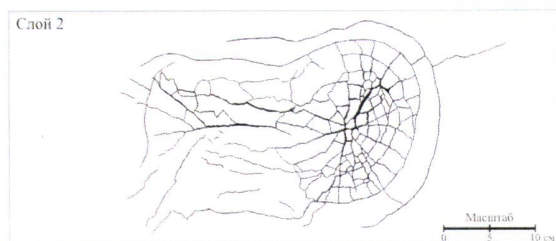
7. Карбонатные породы, входящие в состав баженовской и абалакской свит, имеют преимуществен-



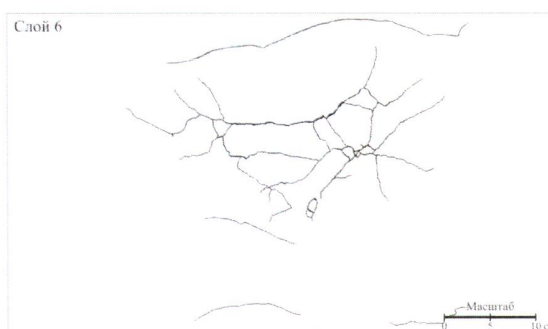
а



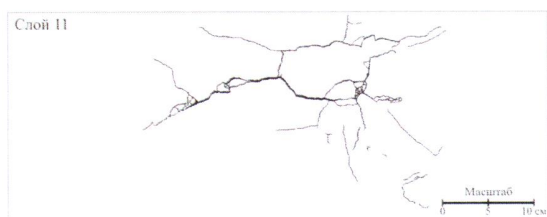
б



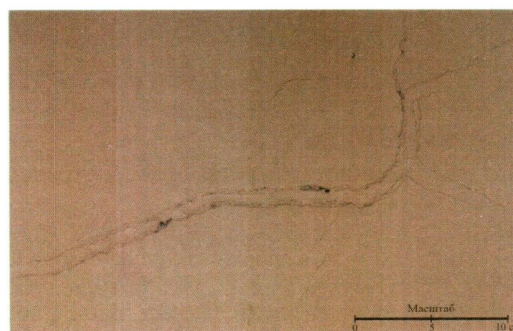
в



г

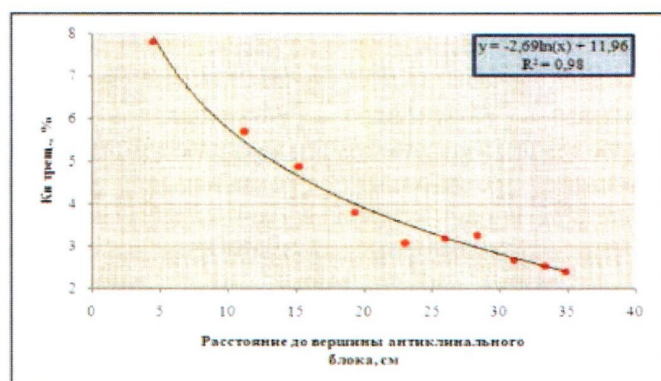


д

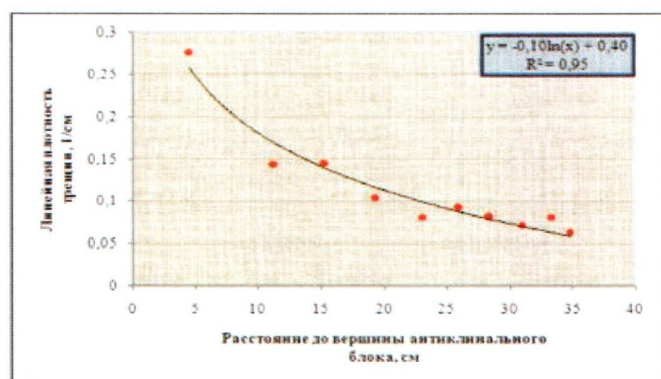


е

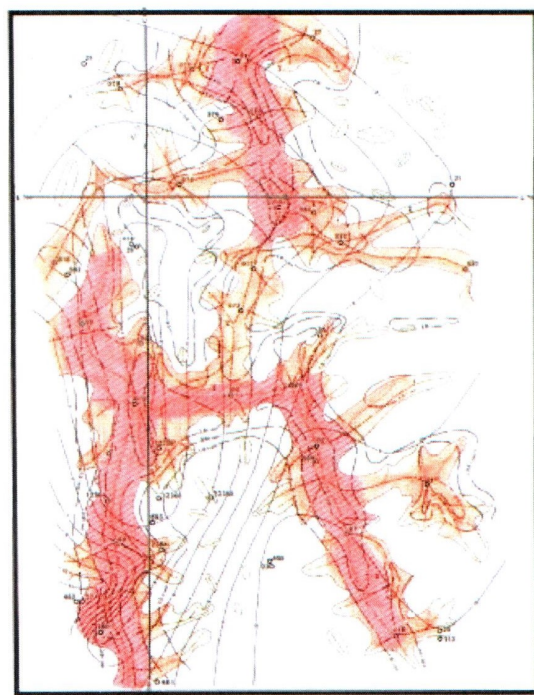
Рис. 12. Трёхмерное тектонофизическое моделирование на основе структурной карты по отражающему горизонту А (а); изготовленная на её основе модель антиклинального блока (б); распределение трещин в компетентных слоях седиментационной модели с указанными на них номерами по направлению снизу вверх (в–д) и фотография поверхности модели после завершения моделирования роста антиклинали (е) (по [16])



а



б



Условные обозначения:

- высокоперспективные;
- перспективные;
- малоперспективные;
- изопахиты суммарной толщины потенциально продуктивных пластов (ППП), м.

в

Рис. 13. Результаты обработки трёхмерной тектоно-седиментационной модели с построенными зависимостями трещинной «пористости» (а) и линейной плотности трещин (б) от расстояния до вершины поднятия и пример структурно-прогностической карты-схемы с выделенными на основе тектонофизического моделирования зонами различных категорий перспективности и суммарной мощности ППП (в) (по [10 и 16])

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

8. Региональная распространённость карбонатного пласта КС₁, расположенного в кровельной части абалакской свиты, вероятно, обусловлена глобальными палеоклиматическими изменениями на рубеже абалакского и баженовского «времен», вызванного или прогибанием морского дна верхнеюрского моря

(эпейрогенез), либо потеплением палеоклимата, приведшего к таянию полярных льдов и, соответственно, повышению уровня мирового океана (эвстазия), что, 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 ППП в их составе, определяется их суммарная мощность и площадное распространение, а на втором — с помощью комплексирования данных сейсморазведки и тектонофизического моделирования прогнозируются участки, в пределах которых в ППП 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 единый бажено-абалакский комплекс.

Список литературы

1. *Гурами Ф. Г., Гурами 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. В кн.: Исследования в области геологии и разработки нефтяных месторождений Западной Сибири. Сб. научн. тр. СибНИИНП. Тюмень. 1982. С. 132–144.
6. *Зубков М. Ю., Ершов В. А., Прямоносина И. А., Шакирова А. Х.* Генерация битумоидов и формирование ёмкостного пространства в отложениях баженовской свиты. Сб. научн. тр.: «Научно-технический прогресс при поисках и освоении нефтяных и газовых месторождений Западной Сибири». Выпуск 63. ЗапСибНИГНИ. Тюмень. 1984. С. 16–21.
7. *Зубков М. Ю., Морышев В. В.* Вещественный состав и условия образования пород баженовской свиты Салымского месторождения. АН СССР. Литология и полезные ископаемые, № 2, 1987, с. 73–80.
8. *Зубков М. Ю., Зубарева Н. М., Сайфуллина А. Х.* Органическое вещество баженовской свиты. Геология нефти и газа. № 5, 1988. 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 коллекторах баженовской и абалакской свит Восточно-Пальяновской площади на основе результатов сейсморазведки и тектонофизического моделирования. Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО. Х–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., Скрылёв С. А., Бондаренко П. М., Бачин С. И., Кос И. М., Медведев Н. Я., Чуйко А. И.* Методы оценки перспектив нефтегазоносности баженовской и абалакской свит Западной Сибири. Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО. Х–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. № 1,

2001, с. 37–48.

14. Зубков М. Ю., Пормейстер Я. А., Николюк В. И. Прогноз углеводородных залежей на основе тектоно-физического моделирования на примере Славинского месторождения. В сб.: «Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО». Т. 1. Х–Мансийск. 2004. 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. В сб.: «Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала ХМАО–Югры». Т. 2. Ханты-Мансийск. Т. 2. 2008. С. 64–81.
16. Зубков М. Ю. Коллекторы в бажено-абалакском комплексе Западной Сибири и способы их прогноза. Геология нефти и газа, № 5. 2014. с. 58–72.
17. Зубков М. Ю. Минеральный и изотопный составы карбонатных пород и присутствующих в них трещин верхнеюрских отложений Западной Сибири. Горные ведомости. № 10 (137) октябрь 2015. С. 40–58.
18. Зубков М. Ю. Особенности распределения урана в битуминозных отложениях баженовской свиты (Западная Сибирь). «Каротажник». НТВ АИС, Вып. 5 (251), 2015, 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. Тр. СНИИГТиМС. Вып. 194. Новосибирск. 1974. 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.// Мин-во геол. СССР, Сиб. Науч.–исслед. ин-т геологии, геофизики и минер. сырья. Сост.: 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.