

61:05-4/53

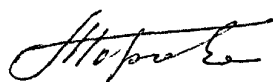
Российская Федерация
Министерство природных ресурсов
ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский
геологоразведочный институт (ВНИГРИ)»

Открытое акционерное общество «СУРГУТНЕФТЕГАЗ»
Сургутский научно-исследовательский и проектный институт
«СургутНИПИнефть»
Тюменское отделение

Коровина Татьяна Альбертовна

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ
КОЛЛЕКТОРОВ В БИТУМИНОЗНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ
БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПЕРСПЕКТИВ
НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ
ЗАПАДНОГО СКЛОНА СУРГУТСКОГО СВОДА**

Специальность: 25.00.12 - геология, поиски и разведка
горючих ископаемых



Диссертация
на соискание ученой степени кандидата
геолого-минералогических наук

Санкт-Петербург 2004

Содержание

Введение.....	4
1 Геологическое строение и нефтегазоносность баженовской свиты в районе исследований.....	9
1.1 Литолого-стратиграфическая характеристика отложений.....	10
1.2 Тектоническое строение территории работ.....	15
1.3 Нефтеносность битуминозных пород баженовской свиты.....	17
2 Породообразующий комплекс и проблемы классификации литотипов.....	18
2.1 Виды исследований вещественного состава пород.....	19
2.2 Характеристика вещественного состава пачек в разрезе баженовской свиты.....	21
2.3 Характеристика литотипов в разрезе баженовской свиты.....	29
3 Природа коллекторов в битуминозных породах и способ определения их емкости и нефтенасыщенности по керну.....	36
3.1 Механохимическая модель формирования коллекторов.....	40
3.2 Роль керогена в образовании промышленных скоплений углеводородов.....	44
3.3 Методика лабораторной оценки общей пустотности (емкости) и нефтенасыщенности битуминозных пород.....	52
4 Критерии поиска коллекторов в битуминозных отложениях баженоской свиты.....	57
4.1 Литологическая, геохимическая характеристики и емкостные параметры битуминозных пород баженовской свиты по месторождениям.....	57
4.1.1 Литологическая, геохимическая характеристики и емкостные параметры битуминозных пород баженовской свиты Ай-Пимского месторождения.....	59

4.1.2	Литологическая, геохимическая характеристики и емкостные параметры битуминозных пород баженовской свиты Западно-Камынского месторождения.....	76
4.1.3	Литологическая, геохимическая характеристики и емкостные параметры битуминозных пород баженовской свиты Ульяновского месторождения.....	79
4.1.4	Литологическая, геохимическая характеристики и емкостные параметры битуминозных пород баженовской свиты Биттемского месторождения.....	86
4.2	Критерии прогнозаирования зон перспективной продуктивности в отложениях баженовской свиты.....	88
	Заключение.....	97
	Список использованной литературы.....	98

Введение

Баженовская свита первоначально рассматривалась в качестве региональной нефтематеринской толщи, регионального флюидоупора и геофизического репера, хотя уже в конце пятидесятих годов прошлого столетия Ф.Г.Гурари, выделивший свиту, подчеркивал возможность ее нефтеносности (Гурари Ф.Г., 1959).

Впервые значительные притоки нефти из баженовской свиты получены при проходке скв.12 на Салымской разведочной площади при опосковании отложений юры-неокома (начальный дебит 700 тонн/сутки). Стратиграфическая приуроченность отложений была на тот момент неясной. Лишь к 1970 году после проведения поинтервальных испытаний и отбора керна в скв.18 была окончательно установлена нефтеносность битуминозных глин баженовской свиты (Нестеров И.И., 1969; Новиков Г.Р. и др., 1970) и выделен новый нефтеносный объект.

Продуктивность битуминозных пород баженовской и абалакской свит в Широном Приобье Западно-Сибирской нефтегазовой провинции (ЗСНГП) подтверждена большим числом эксплуатирующихся скважин на Салымском, Ай-Пимском, Маслиховском, Западно-Камыньском, Ем-Еговском, Каменном, Северо-Демьяньском и других месторождениях. По оценкам некоторых исследователей суммарные запасы нефти в них достигают 30-50 млрд тонн, а извлекаемые – 5-7 млрд.тонн.

Большой вклад в изучение баженовской свиты в Западной Сибири внесли Н.Б.Вассоевич, Ф.Г.Гурари, И.И.Нестеров, А.Э.Конторович, Т.Т.Клубова, Т.В.Дорофеева, Б.А.Лебедев, С.Г.Неручев, В.К.Шиманский, Е.А.Рогозина, Г.М.Парпарова, О.П.Фомин, А.М.Меленевский, Ю.В.Занин, О.М.Мкртчян, О.К.Баженова, Т.К.Баженова, В.П.Сонич, В.В.Хабаров, О.М.Нелепченко, В.И.Белкин, Н.М.Белкин, В.И.Ибраев, Г.С.Ясович, Ю.В.Брадучан,, А.В.Гольберт, В.Н.Векшина, Г.В.Войткевич, Ю.В.Щепеткин, А.А.Нежданов, Н.В.Лопатин, И.Н.Ушатинский, О.Г.Зарипов, М.Ю.Зубков, А.В.Рыльков, Г.Ф.Григорьева и многие другие. В качестве первооткрывателей, давших первую потенциальную оценку перспективности объекта, особое место среди ее исследователей занимают Ф.К.Салманов и

А.В.Тян. Из наиболее представительных центров исследования следует отметить научные школы ВНИГРИ, ВНИГНИ, СНИИГГиМС, ЗапСибНИГНИ, ЗапСибНИИГеофизика, СибНИИНП, ИГНиГ СО РАН, ИГИРГИ и ВНИИгеосистем. Однако, несмотря на почти сорокалетний период исследований, до сих пор отсутствуют системные критерии её разведки и разработки.

Баженовская свита представляет собой высоко битуминозную карбонатно-кремнисто-глинистую нефтематеринскую толщу, требующую индивидуального подхода к изучению её состава и условий образования, выделению коллекторов и выбору технологий их последующей эксплуатации.

Такое положение объясняется особенностями объекта исследований как в литогеохимическом, так и в промыслово-геофизическом, и в технологическом плане. В течение многих лет ограниченность технических возможностей, начиная с низкого (спорадического) выноса керна, несовершенства методов исследования породообразующего комплекса и заканчивая иногда противоречивыми палеогеографическими реконструкциями на их основе, не позволяли сформировать достаточно убедительную систему критериев поиска коллекторов. Мало прибавляла достоверности в понимании «устройства» продуктивного разреза и практика разведочного бурения, успешность которого, по мнению производителей, еще 10 лет назад составляла «не более 3-4 продуктивных скважин из 50 пробуренных» (Югра, 2000). Из-за незначительной по сейсмическим меркам толщины 25-40 м (соизмерима с разрешением) методы отраженных волн (в различных интерпретациях) для дифференциации битуминозного разреза баженовской свиты оказались непригодными.

Опыт освоения подобных объектов за рубежом по данным научной печати (Леворсен А.С., 1970; Брэдли В.Х., Хуберт М.К.; Виллис Д.Г. и др.) также не велик: в США разрабатывались залежи газа в девонских битуминозных сланцах Аппалачского бассейна (месторождение Биг-Сэнди), нефтяные залежи в нижнепермских сланцах бассейна Мидленд (месторождение Спраберри), в верхнемеловых и неогеновых битуминозных

и кремнисто-глинистых породах бассейна Скалистых гор (месторождения Флоренс, Рузвельт и др.), в Калифорнии (месторождения Санта-Мария-Вэлли, Оркатт и др.). Объем добычи углеводородов по всем этим месторождениям незначительный, детальному изучению они не подвергались. Поэтому он не мог быть с достаточной практической эффективностью применен в Западной Сибири.

Техническое перевооружение, проведенное ведущими нефтяными компаниями за последнее 10-15 лет, постепенно меняет ситуацию.

Увеличился вынос керна, особенно благодаря изолирующим технологиям, что приблизило камеральные выборки реальному составу разреза. Качественно изменился комплекс литогеохимических исследований. Наиболее принципиальным представляется возможность отказаться от, казалось бы, неизбежного (в недавнем времени) разделения минеральной матрицы и керогена, приводившего к значительному техногенному нарушению минерального состава породы (аморфизации кварца криптокристаллической размерности, растворению хлорита, монтмориллонитизации гидрослюд) и состояния керогена.

Применение методов продольного лабораторного гамма-просвечивания и измерения скоростей акустических волн на колонке керна полного диаметра позволило решить проблему его привязки и одновременно нормирования каротажных диаграмм ГИС (ГК, ГК-плотностной, АК). Возросли технические возможности методов ГИС (расширенный комплекс стандартных методов, ЯМР, ГТИ, компьютерные средства интерпретации и др.).

Разработка методов оценки напряженных состояний осадочного чехла и его отдельных элементов по данным 2D и особенно 3D сейсмики существенно изменило представление о механизмах постседиментационных и постлитификационных преобразований пород (Зубков М.Ю. и др., 2000, 2001, 2002, 2003), планетарных и региональных факторах, контролирующих распространение напряженных состояний литосферы с учетом данных магнитной и гравиметрической съемки (Шпильман, В.И. и др, 2001; Мясникова Г.П., 2004). Работы Н.М.Белкина и В.И.Ибраева (Белкин Н.М.,

Ибраев В.И., 2003) по практической разработке сейсмических атрибутов для диагностики напряженных состояний, а через них трещинных коллекторов, в отложениях баженовской свиты на Ай-Пимском лицензионном участке (ЛУ) приблизили успешность вскрытия продуктивных битуминозных отложений (без дифференциации продуктивности) на этой территории к 65 %.

Наконец применение нетрадиционных методов вскрытия (гидроразрыв пласта (ГРП), горизонтальное бурение и другие) на базе более глубокого изучения разрезов свиты на отдельных месторождениях позволили добиться продуктивности в скважинах, ранее относящихся к «сухим». На отдельных участках опытно-промышленных работ (Маслиховское, Ульяновское месторождения) на Сургутском своде проводятся испытания методов гидротермовоздействия и проводки горизонтальных скважин.

Из теоретических достижений фундаментальных наук конца 20-ого столетия следует отметить формирование основных положений механохимии, сформулированные В.Г.Аввакумовым (Аввакумов В.Г., 1992; журнал, 2002), которые помогли продвинуться в понимании природы процессов формирования залежей углеводородов в битуминозных отложениях баженовской свиты.

Практическая направленность многолетних работ автора и руководимого им коллектива по уточнению условий формирования отложений, изучению вещественного состава была продиктована необходимостью выработки критериев поиска коллекторов в битуминозных отложениях свиты, оценки емкостных параметров, объективному обоснованию расчленения разреза по данным промыслово-геофизических исследований и на их основе уточнение природы коллекторов, закономерностей их размещения в битуминозных отложениях и, как следствие, прогнозной оценки перспектив нефтеносности территории работ.

Решение этих задач потребовало разработки комплекса количественных методов лабораторного изучения вещественного состава и емкостных характеристик пород. Потребовалось выработать новые классификационные критерии разделения битуминозных пород на литотипы, которые бы отражали природу дифференциации их на коллекторы и

неколлекторы. Учитывая нефтематеринский характер баженовской свиты разрабатывались приемы классификации керогена.

Особое внимание было уделено влиянию тектонических факторов, как основного природного инструмента формирования различных видов емкости в битуминозных отложениях баженовской свиты. Опираясь на работы предшественников, среди которых наиболее близки по фактуре используемого материала модели М.Ю.Зубкова, и, главным образом, на современные представления механохимии, кристаллофизики и минералогии удалось не только развить доказательную базу тектонозависимости нефтепродуктивности отложений, но и объяснить различные аспекты механизма формирования углеводородных залежей в них.

Лабораторное изучение керна, пластовых флюидов занимает особое место в геологических исследованиях. Их состав, состояние, особенности взаимодействия и сосуществования отражают все процессы, сопровождающие формирование природных комплексов, начиная с космогенических планетарных и заканчивая самым малым прослоем в отдельно взятой скважине. В нем многое определяется техническим уровнем оснащения исследователя, технологиями извлечения материальных свидетелей и т.д. – каждый из них имеет свои объективные ограничения, которые влияют на конечный результат. Каждый из них, каким бы тонким и изощренным не был лабораторный опыт, должен быть встроен в целостную систему природного процесса в том его виде, какой сегодня исследователю представляется. Но до этого должны быть сняты все неизбежно возникающие противоречия внутри самого аналитического комплекса, а применяемые методы бесспорно обязаны быть адекватны объекту изучения. Отсюда и та мера ответственности, которую принимает на себя исследователь, берясь за интерпретацию этих результатов.

История исследования битуминозных отложений баженовской свиты знает немало противоречий, заложенных именно на этой стадии изучения, о которых говорилось выше. Наиболее существенные из них анализируются в настоящей работе. Здесь, однако, следует еще раз четко констатировать, что определяющей причиной методических недостатков лабораторных

исследований предшествующего периода стала низкая техническая оснащенность и самих лабораторий, и отбора керна, и технологий его привязки к разрезу.

Поэтому начальным толчком к разработке обновленного комплекса исследований явилась необходимость снять эти противоречия, базой – оснащенные современной техникой лаборатории и привлечение абсолютно новых для Западной Сибири лабораторных технологий привязки керна и его отбора. А уже после этого появилась та доказательная основа, которая позволила сформулировать основные элементы механохимической модели.

Проведенные исследования безусловно имели своей целью не только научный, но прежде всего практический результат. Они являются частью большой системной работы, проводимой ОАО «Сургутнефтегаз» на территории своей деятельности в Западной Сибири

Учитывая, что в настоящее время структура приращиваемых запасов нефти осложняется, а добыча по многим действующим месторождениям идет на убыль, разработка методов системного прогноза коллекторов в битуминозных породах баженовской свиты является приоритетным направлением в ее деятельности, а также в деятельности других компаний, эксплуатирующих территорию их распространения. Очевидно, что предпринятые в последние годы существенные капитальные вложения в наукоемкие методы изучения продуктивных отложений баженовской свиты, включая разработку методик и опробование технологий, обусловлены острой необходимостью воспроизводства и расширения ресурсной базы нефтедобычи на обустроенных территориях с развитой промышленной инфраструктурой.

Глава 1. Геологическое строение и нефтегазоносность баженовской свиты в районе работ

Баженовский горизонт занимает в Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции площадь более 1 млн.км² и протягивается от самых южных ее районов (Омский) до субарктических (Тамбейский).

Западный склон Сургутского свода и примыкающая к нему восточная часть Фроловской впадины входят в территорию промышленного освоения нефтяной компании ОАО «Сургутнефтегаз» и являются объектом рассмотрения в настоящей работе (рис.1.1). Её общая площадь около 20 тыс.км²

Средняя мощность битуминозных отложений составляет 30 м, глубина залегания – от 2,7 до 3.1 км, пластовая температура обычно находится в пределах от 95 до 110⁰С (в районе отдельных скважин до 120-125⁰С), общий объем пород баженовской свиты на рассматриваемой территории составляет около 600 км³ . Промышленная продуктивность подтверждена на всей территории в десятках скважин. Дебиты составили от 0.3 до 400 м³/сут.

1.1 Литолого-стратиграфическая характеристика отложений

В соответствии с принятым стратиграфическим делением рассматриваемая битуминозная толща (формация) относится на западе к мулымьинской свите в интервале волжский ярус (титон) – готерив и тутлеймской свите (титон – низы валанжина), а в подавляющей части – к баженовской свите (титон—низы берриаса). Соответственно выделяются Игримо-Леушинская, Березово-Тобольская и Тамбейско-Омская зоны. Последняя по типам разрезов подразделяется на ряд нефтегазоносных областей (НО) и районов (НР). Наибольшие прогнозные ресурсы нефти в битуминозных отложениях баженовской свиты приурочены к Фроловской НО (Салымский, Приобский и Ляминский НР) и крайней западной территории Среднеобской НО (Тундринская и Вынглорская котловины). В соответствии со стратиграфической схемой (рис.1.2) осевая линия бассейна седиментации приурочена к Фроловской мегавпадине, где сосредоточены основные подтвержденные запасы нефти пласта ЮС₀. Типичные разрезы изучаемой толщи представлены битуминозными карбонатно-кремнисто-глинистыми породами (Гурари Ф.Г., 1959, 1974, 1980; Зарипов О.Г. и др., 1976; Нестеров и др., 1986; 1987, 1988; Нефтеносность..., 1987; Ушатинский И.Н. 1978, 1981, 1996).

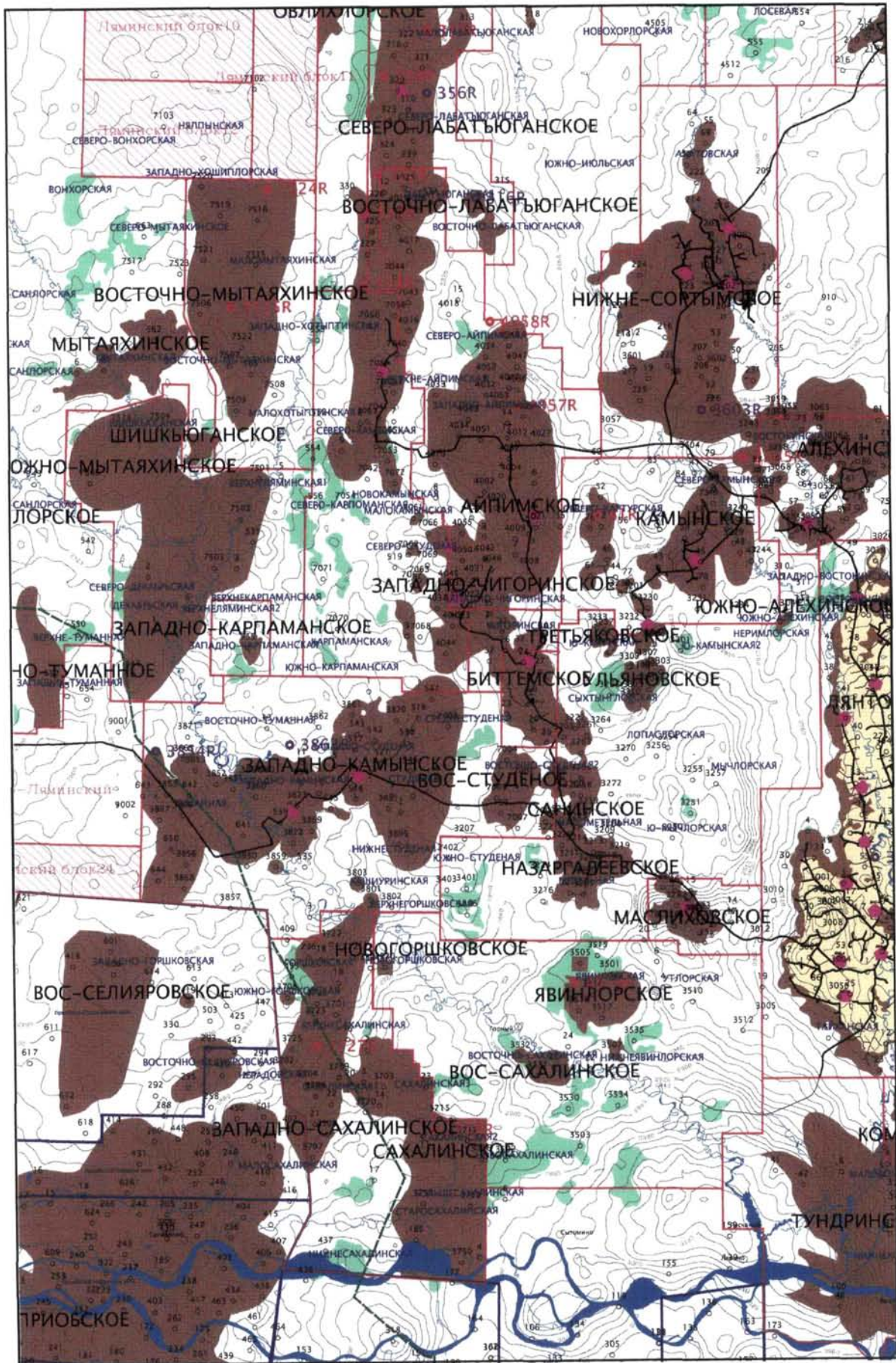


Рис 1.1. Фрагмент обзорной карты территории работ ОАО "Сургутнефтегаз"

Преобладающее значение в баженовской формации имеет собственно баженовская свита, в составе которой выделяется в центральных районах 4 пачки, соответствующих нижнему, среднему, верхнему подъярусам волжского яруса и нижней части берриасского. Однако чаще две последние пачки объединяются в одну, и тогда мощность нижней пачки составляет 10-15 м, средней – до 12-15 м, верхней – около 5-10 м (Брадучан Ю.В. и др., 1986; Строение и нефтегазоносность..., 1985; Хабаров и др., 1980, 1981, 1986). В данной работе результаты исследования приводятся отдельно для каждой пачки.

Подстилаются битуминозные отложения на основной части своего распространения пелитовыми и слабоалевритистыми глинами абалакской (келловей - низы титона) свиты средней мощностью 30-40 м, а перекрываются глинистыми толщами значительной мощности (десятки метров) различных свит неокома. В центральных районах кровлей битуминозной толщи служат глины подачимовской пачки толщиной десятки метров. На отдельных площадях отмечаются локальные участки, где развиты аномальные разрезы баженовской свиты, представляющие собой линзовидные тела терригенных пород. Зона развития аномальных разрезов на Сургутском своде простирается восточнее исследуемой территории, которая ими не осложнена (рис.1.1).

Контакты баженовской свиты с вмещающими породами, особенно с глинами кровли, часто проявляются нечетко, иногда на протяжении 3-5 м и более. Границы свиты устанавливаются на практике обычно не по керну, а только по каротажным кривым (чаще по диаграммам радиоактивного каротажа), что вносит определенные ошибки. Между тем по керну отмечается, что нередко в низах перекрывающего разреза состав пород близок к составу пород баженовской свиты. Содержание ОВ здесь составляет 5-7% (иногда до 10-12%), биогенного кремнезема до 25-30%, пирита – до 5-10%. Породы обычно представлены кремнистыми глинами слоистой и скрытослоистой текстуры. Исключение рассматриваемых пород из баженовского НГК приводит к неоправданному сокращению (в среднем на 5 м) общей и, возможно, эффективной (коллекторской) мощности. Исходя из

Отдел	Ярус	Почтурус	Зоны и подзоны по аммонитам	Свита	Клиноформа, горизонт	Слои с фауной, спорами, пылью и диноцистами							
						с аммонитами	с двустворками	с фораминиферами	Спорово-пыльцевой комплекс	Динокомплекс			
НИЖНИЙ МЕЛ	Горний	Нижний	<i>Homolomites bojarkensis</i>	УСТЬ-БАЛЫКСКАЯ ВАРТОВСКАЯ СОЛТЫМСКАЯ МЕЛЮНСКАЯ БАЖЕНОВСКАЯ		Слои с фауной, спорами, пылью и диноцистами	Слои без аммонитов	Слои без двустворок	<i>Cribrostomoides concavoides</i>	СПК 3	Нет спор и пыльцы	Нет диноцист	
			<i>Selandites kotschetkovi</i>										
	Верхний		<i>Dichotomites spp.</i>										
			<i>Polypptychites beani</i>										
			<i>Sibentes ramulicosta</i>										
			<i>Euryptychites astleriptychus</i>										
	Валацкиан	Нижний	<i>Propolypptychites quadridus</i>										
			<i>Neotolia klimovskiensis</i>										БС ₆₋₇
													Сармановская
													БС ₈
													БС ₉
													Чеускинская
													БС ₁₀
													Похвчевская
													БС ₁₁₋₁₃ = БВ ₀₋₃
													БС ₁₄ = БВ ₄₋₅
	Урьевская												
			<i>Neotolia klimovskiensis</i>										
			БВ ₆₋₇ = БП ₁₄₋₁₅										
			Самотлорская										
			БВ ₈₋₉										
	Березкиан		<i>To'lia spp.</i>										
			<i>Bojarkia masezhnikovi</i>										
			<i>Suntas analogus</i>										
			<i>Nectoroceras kochi</i>										
			<i>Chetaites sibiricus</i>										
<i>Praetolia maynol</i>													
<i>Craspedites la'myrensis</i>													
Верхний		<i>Craspedites okensis</i>											

Рис.1.2 Стратиграфическое соотношение биостратонов (пакет параллельных шкал) в неомеле на территории Северного Приобья (Западная Сибирь) (Биостратиграфия..., 1999)

сказанного, за отметку кровли баженовского нефтегазоносного комплекса¹ на диаграмме ГК следует принимать начало первого (верхнего) нарастания кривой. Однако в настоящее время отметки кровли баженовской свиты в большинстве случаев берутся по нижеследующему максимуму. Чтобы не вносить путаницу в существующую систему границ свиты, целесообразно выделить его в отдельную переходную зону с указанием ее мощности и отметок залегания. Нижняя граница баженовского НГК в большинстве случаев более определенно устанавливается по кривым радиоактивного, индукционного и электрического каротажа.

В составе глинистых экранов баженовского НГК в Красноленинском и Салымском районах содержание глинистого вещества достигает 75-85%, оно складывается смешанослойными смектит-гидрослюдистыми образованиями (25-35%), диоктаэдрическими гидрослюдами (25-35%), хлоритом (10-15%), каолинитом (5-10%). Количество мелкоалевритового рассеянного материала (кварц с примесью полевых шпатов) обычно не превышает 10-15%, а карбонатного вещества (кальцит) - 2-4%. Комплекс поглощенных катионов складывается натрием (3,5-4,5 мг-экв), кальцием (2,5-3,5), магнием (1,5-2,5), калием (1,5-2). Общая емкость поглощения достигает 10-12 мг-экв на 100 г породы, а величина натрий-кальциевого соотношения (1,3-1,6) превышает единицу, что характерно в Западной Сибири для качественных флюидоупоров. По экспериментальным данным (А.А.Ханин, 1969) давление прорыва газа для таких пород превышает 5,0 МПа, газопроницаемость падает до 10^{-5} фм² и ниже, а суммарный коэффициент диффузии – до 10^{-7} см²/с. По применяемой классификации подобные покрышки относятся к третьему классу, в пластовых условиях они являются практически непроницаемыми для нефтяных углеводородов. Такие вмещающие глины изолируют баженовскую толщу от проницаемых пород и создают в ней замкнутую систему с аномально высокими пластовыми давлениями (АВПД). Однако при опесчанивании или резком сокращении мощности (до 2-3 м) нижнего флюидоупора изоляция толщи может нарушаться и тогда некоторыми

¹ Верхние отложения связаны с некомпенсированным прогибанием в келовейское, берияс-валаанжинское и частично в раннеготеривское время

исследователями допускаются перетоки нефти из баженовского НГК в нижележащие проницаемые пласты (особенно в залегающий под георгиевской свитой пласт Ю₁). Однако сопоставительный анализ нефтей из тех и других отложений не позволяет получить однозначного ответа на этот вопрос (Нестеров И.И. и др., 1987).

Контакт баженовской свиты с подстилающими абалакскими глинами в большинстве случаев проявляется довольно резко. Некоторые исследователи допускают здесь кратковременный перерыв. Часто в контактной зоне присутствуют один-два карбонатных прослоя мощностью до метра, которые занимают место в самом низу баженовской свиты и в самом верху подстилающих отложений. Иногда оба прослоя сливаются в один. Прослои эти имеют конкреционную природу и могут прежде всего играть роль фильтрационных каналов для углеводородов баженовского НГК, а не только абалакской свиты, как иногда предполагается (Зубков М.Ю., 2000). Формированию их фильтрационных свойств способствовали процессы выщелачивания (с образованием видимых в керне каверн до 3-5 мм) и дробления карбонатов.

1.2 Тектоническое строение территории работ.

Территория исследования баженовской свиты в соответствии с тектонической картой фундамента Западно-Сибирской плиты (В.С.Сурков, О.Г.Жеро, 1980) располагается на западном склоне Сургутского свода и примыкающих к нему с запада-северо-запада восточного крыла Фроловской мегавпадины (рис.1.3).

Особенностью строения последней является преобладание отрицательных структур. Северная граница территории проходит по Выинглорской, на юге-юго-востоке - по Тундринской котловине, совпадая с тектонической границей между Сургутским сводом (Средне-Приобска НО) и Фроловской НО. Территорию осложняют вали: Ляминский, Ай-Пимский, Туманный, южнее нее во Фроловской впадине картируются –

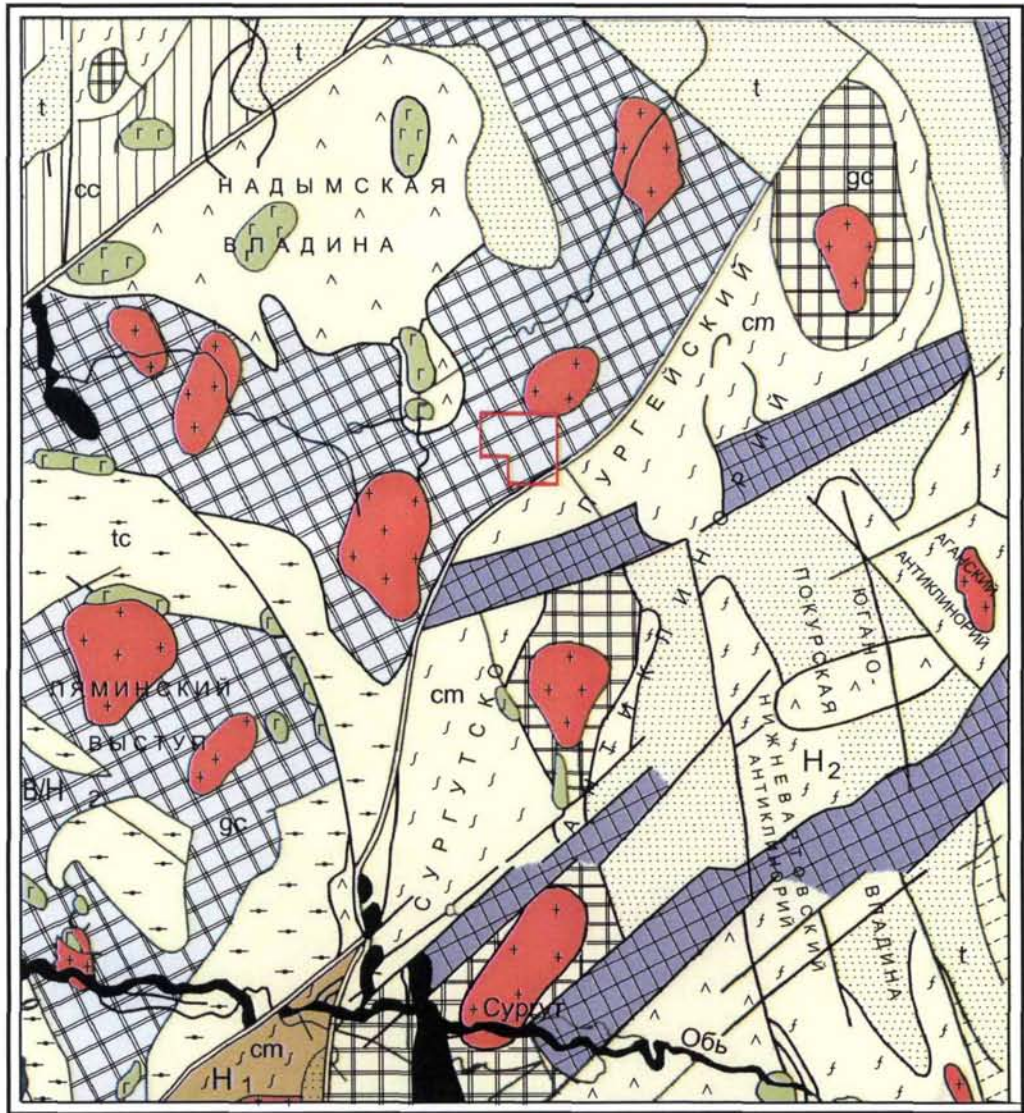
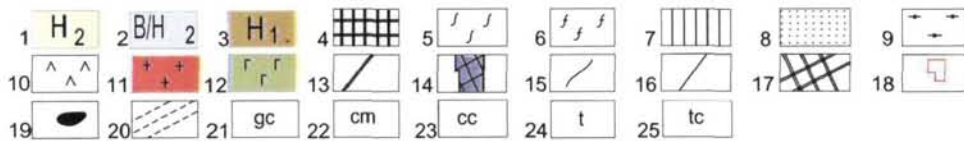


Рис.1.3 Выкопировка из «Тектонической карты Западно-Сибирской плиты» (В.С. Сурков, О.Г. Жеро, 1980 г.)

Условные обозначения:



1 - области позднегерцинской складчатости; 2 - области байкальской складчатости, переработанные герцинским тектогенезом; 3 - области раннегерцинской складчатости; 4 - ядра антиклинориев, сложенные байкальскими складчатыми комплексами; 5 - антиклинорные зоны унаследованного типа развития (полициклические); 6 - антиклинорные зоны инверсионного типа развития (моноциклические); 7 - синклинорные зоны унаследованного типа развития; 8 - межгорные прогибы и внутренние впадины; 9 - наложенные впадины и прогибы в пределах срединных и устойчивых массивов; 10 - раннемезозойские впадины и грабены в пределах каледонской и герцинской складчатости; 11 - гранитоиды; 12 - базиты; 13 - глубинные разломы, разграничивающие складчатые системы; 14 - раннемезозойские грабен-рифты; 15 - прочие разломы; 16 - границы структурно-формационных зон; 17 - выступы-горсты байкальских складчатых комплексов; 18 - граница отчетных работ; 19 - ультрабазиты; 20 - основания межгорных прогибов; формации геосинклинальные: 21 - кремнисто-сланцевая; 22 - глинисто-сланцевая; 23 - карбонатно-глинисто-сланцевая; формации протоорогенные и переходные: 24 - терригенная; 25 - терригенно-карбонатная

Ендырский, Зимний, Эргинский валы. Наиболее крупные положительные структуры – Салымский и Верхнесалымский мегавалы располагаются юго-восточнее за пределами территории исследования. Территория осложнена системой крупных разломов субмеридионального простирания (от Западно-Сахалинского ЛУ до Ай-Пимского и далее на север) и серией субпараллельных более мелких разломов юго-запад-северо-восточного простирания. На Ай-Пимском и Сахалинском ЛУ находятся зоны их пересечения.

1.3. Нефтеносность битуминозных пород баженовской свиты

В настоящее время наличие постоянных промышленных притоков нефти из отложений баженовской свиты подтверждено опытной эксплуатацией (рис.1.1). Термобарическим признаком промышленной нефтеносности, по мнению ряда исследователей (Гурари Ф.Г., Сонич В.П., Нежданов А.А., Хабаров В.В. и другие), являются пластовые температуры, превышающие 90°C. Западный склон Сургутского свода практически полностью попадает в такую зону. На территории работ в баженовской свите открыто около 20 месторождений нефти. Наиболее крупными среди них являются Ай-Пимское, Сахалинское, Западно-Камынное, Камынное, Маслиховское, Биттемское, Явинлорское, Ульяновское. Но, несмотря на это, результаты испытаний показывают существенный разброс дебитов скважин из пласта ЮС₀. По результатам испытаний и частично последующей эксплуатации изученных месторождений он составляет от 0 до 400 м³/сутки. Причем такая же латеральная неоднородность наблюдается в пределах одного месторождения. Аналогичное отсутствие закономерности наблюдается и по разрезу: промышленные притоки получены из отложений среднего, нижнего и частично верхнего циклитов. Достигнутый уровень изученности еще не позволяет дать во всех отношениях детальную оценку перспектив нефтеносности этих объектов.

Глава 2. Породообразующий комплекс и проблемы

классификации литотипов

По своему вещественному составу отложения баженовской свиты можно отнести к минерально-биогенному виду пород, когда одновременное захоронение морской биомассы (фауна, бактерии и водоросли), высокодисперсного глинистого материала и, возможно, вулканических осадков создает условия для формирования сложного органо-минерального комплекса. В какой-то мере современными аналогами отложений баженовской свиты выступают кремнистые обогащенные органическим материалом глубоководные илы, как морского, так и озерного происхождения. Породы баженовской свиты претерпели значительные постседиментационные преобразования, которые во многом определили современный облик этих пород. Эти отложения имеют отличную от терригенных типов пород-коллекторов природу порового пространства, совершенно иной механизм консолидации жидких нефтидов, поскольку их продуцирование происходит в самой толще, являющейся нефтематеринской. Характерной особенностью литификации таких сложных комплексов является преобразование органического вещества в условиях недостатка кислорода для его полного окисления и сравнительно низкого катагенеза, в котором еще не происходит полной углефикации органического материала, а также низкие коэффициенты диффузии, не обеспечивающие выноса материала за пределы формирующейся породы. Весь динамизм массопереноса при образовании этих отложений приходится на стадию седиментогенеза, когда захороненные осадки минеральной и биогенной природы активно поглощают растворенный в придонных слоях морской воды неорганический материал (кремний, кальций, магний, катионы переходных и щелочных металлов и т.п.). Малые скорости седиментогенеза способствуют значительному вкладу геохимических процессов на границе «морская вода – осадок» в формирование как минеральной, так и органической части породы. На этой границе происходит элементный обмен и выщелачивание минеральной составляющей осадка, а также обогащение органического вещества катионами и окислами металлов, сорбируемыми

преимущественно органическим веществом. К металлам, обладающим наибольшим сродством к органическому веществу, относятся уран, никель и ванадий. С другой стороны в придонном слое в случае сероводородного заражения бассейна происходит развитие специфической микрофауны и в первую очередь сульфатредуцирующих бактерий, приводящих к развитию сульфидного комплекса отложений (пирита и его аналогов). В условиях небольших глубин, обеспечивающих возможность фотосинтеза, активизируется роль цианобактерий в преобразовании органического вещества с появлением аутигенного минерального комплекса биохемогенного генезиса.

Дуализм породообразующего комплекса и нефтематеринская роль битуминозных отложений свиты предопределили существенно важную роль исследований органической составляющей (керогена). Детальные комплексные исследования минерального состава породообразующего комплекса баженинов и керогена представлены в многочисленных работах ученых и практических специалистов (Ассоциации микроэлементов..., 1984; Баженова О.К и др. 1985; Брадучан Ю.В., Гольберт А.В., Гурари Ф.Г. 1986; Вассоевич Н.Б. и др., 1975, 1978, 1982; Векшина В.Н., 1962; Дорофеева Т.В. и др. 1983, 1992; Зубков и др. 1987, 2000, 2001, 2002; Локальный прогноз..., 1992; Лопатин Н.В., 1998, 1999, 2000, 2001; Клубова Т.Т., 1988; Конторович и др., 1971, 1975, 1994, 1998, 2003, 2004; Коровина и др. 2000, 2001, 2002; Мкртчян О.М., 1985; Нестеров И.И. и др., 1986, 1988, 1987; Парпарова Г.М., Неручев С.Г. и др., 1981; Плуман И.И., Запывалов Н.П., 1977; Страхов Н.М., 1962, 1976; Ушатинский И.Н., 1981, 1996 и другие).

2.1. Виды исследований вещественного состава пород

Вещественный состав пород баженовской толщи условно можно разделить на две части: минеральную и органическую. Несмотря на то, что в породе они тесно взаимосвязаны, каждая из них требует своих индивидуальных методов исследования в лабораторных условиях.

В настоящей работе приводятся результаты исследований битуминозных баженовских отложений, в пределах которых при вскрытии были получены притоки нефти. Изучение керна, поднятого из таких скважин, кроме макроописания, включало рентгенофазовый и термовесовой анализы, позволившие исследовать состав глинистых и карбонатных минералов, рентгенофлуоресцентную спектроскопию, благодаря которой был получен химический состав минеральной части скелета пород, включающий 78 химических элементов. По каждому образцу был изготовлен петрографический шлиф, по которому исследовались структурно-текстурные особенности пород, оценивалось на полуколичественном уровне содержание в породе глины, керогена, различных форм кремнистого и карбонатного вещества, пирита, остатков микро- и макрофауны и других компонентов, определяемых оптическими методами в шлифах. Кроме того, по образцам керна были проведены определения открытой пористости пород методом керосинонасыщения. Определения пикнометрической плотности пород, до и после экстракции в спиртобензоле, позволили рассчитать общую пористость образцов как с первоначальным насыщением органикой, так и после частичного удаления наиболее растворимой и подвижной ее части. Изучение керогена проводилось без извлечения из породы и без какого-либо воздействия на нее методом окислительно-пиролитической деструкции на современном пиролизаторе Rock Eval 6.0. Комплексный анализ полученных данных позволил достаточно полно охарактеризовать вещественный состав пород баженовской толщи.

Баженовская свита сложена кремнистыми аргиллитами черными и коричневато-черными, битуминозными, массивными, прослоями плитчатыми, с большим количеством рыбных остатков, скелетов радиолярий, давленных раковин бухий, аммонитов и ростров белемнитов. Прослоями породы карбонатизированы от 5-15 до 75-90%, толщины этих прослоев до 1-4 м. В нижней части свиты развиты прослои радиоляритов, в верхней – выдержанный горизонт с остатками планктонных водорослей кокколитофорид толщиной 2-5 м.

История изучения баженовской свиты насчитывает несколько литологических классификаций пород с выделением от 5 до 12 литотипов. Однако, не одна из них не стала практически значимой, поскольку невозможно определить четкие границы между выделенными литотипами. Достоверно установлено, что породы баженовской свиты контролируются содержанием следующих основных компонентов: глинистых минералов, кварца (силицита), карбонатов и керогена. Сочетание этих компонентов с учетом дополнительных факторов хемогенности или биогенности, которые в значительной мере контролируют микротекстурные признаки пород, порождает великое многообразие литотипов.

Разрез баженовской свиты является сложным не только для литологической, но и, прежде всего, промыслово-геофизической дифференциации. На сегодняшний день единственной практически значимой методикой является предложенная В.В.Хабаровым методика выделения пачек С и Р в разрезе баженовской свиты по данным ГИС, которое обусловлено цикличностью строения разреза баженовской свиты на всей территории ее распространения. Эта цикличность хорошо прослеживается особенно на диаграммах радиоактивного каротажа.

2.2. Характеристика вещественного состава пачек в разрезе баженовской свиты

По каротажу выделяются три цикла формирования отложений, каждый из которых снизу вверх начинается пачкой Р и заканчивается пачкой С.

Пачки Р соответствуют периодам накопления большого количества биогенного материала в осадке, что привело к обогащению пород остатками радиолярий, ихтиофауны, планктонных членистоногих и других форм морской биоорганики. В пачках С преобладают глинистые минералы и криптокремнезем, который по морфологическим особенностям может быть отнесен к пепловым образованиям или(и) хемогенным осадкам, выпавшим из морской воды. Начинается разрез пачкой Р₄, которая залегает непосредственно на породах георгиевской свиты и зачастую наследует

отдельные ее признаки. Породы этой пачки представлены карбонатными и карбонатно-кремнистыми, в значительной степени пиритизированными разновидностями пород. Это могут быть как кремнистые и карбонатизированные радиоляриты, так и обогащенные микро- и ихтиофауной пропластки. Иногда они содержат до 10-15% керогена. Если же не считать эти немногочисленные локальные пропластки, то породы пачки Р₄, как показывают данные пиролитических исследований, менее других насыщены органическим веществом.

Перекрывается баженовская толща также слабо битуминозными породами пачки С₀, которая по составу минеральной матрицы представлена преимущественно глинистыми минералами. Среди них преобладает гидрослюда, характеризующаяся оптической ориентацией чешуек. Распределение ее слоистое, от листовато-слоистого до линзовидно-слоистого. Тонкую микрослоистую текстуру пород подчеркивает обилие нитевидных, прерывистых углистых намывов (возможно обуглившиеся водоросли). Часто отдельные прослои в пачке обогащены мелкими и точечными карбонатными стяжениями кальцитового состава, вероятнее всего биогенного происхождения. Битуминозность пород в этой пачке наблюдается в отдельных прослоях. Чем дальше от кровли баженовской толщи, тем она менее интенсивная. Наличие битуминозных прослоев в пачке С₀ зачастую не позволяет уверенно и однозначно отбивать кровлю баженовской свиты по каротажу.

В таблице 2.1 представлена комплексная характеристика пород по описанному выше принципу их классификации. В таблице четыре раздела. В первом «Данные по шлифам» даны соотношения основных породообразующих комплексов с учетом биогенности и хемогенности их происхождения. Во втором «Данные по физ-химии» приведены количественные соотношения породообразующих минералов, полученные в результате специальных количественных исследований на основе рентгенофазового, термовесового анализов и пиролиза. В разделе «Элементный состав» приведены систематизированные данные по результатам исследования химического состава пород на содержание

основных породообразующих оксидов: кремнезема, глинозема, пирита и карбонатов. Однако эти данные приведены в виде петрохимических коэффициентов, построенных на определении доли каждого из основных породообразующих химических элементов к сумме этих элементов. Для формирования битуминозных пород баженовской свиты определяется соотношение Fe/S. Соотношение K/U и $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ позволяет оценить характер глинизации разреза и зоны, аккумулирующие радиоактивные изотопы урана в большей степени. Последующие исследования теплофизических и катагенетических признаков керогена для уточнения модели формирования коллекторов и отложений в целом сопоставляются с этими признаками нефтематеринских пород. В последнем разделе «ФЕС» приводятся емкостные параметры пород по данным лабораторных исследований. В отличие от терригенных пород для битуминозных аргиллитов не определяются ни проницаемость, ни водоудерживающая способность. Первая – по причине недоступности для определения образцов с трещинной проницаемостью, характерной для коллекторов баженовской свиты, а вторая – из-за спорности модели остаточной воды.

По приведенным в таблице 2.1 данным прослеживается существенное окремнение разреза сверху вниз (наиболее кремнистые пачки P_2, C_3 и P_3). Пачки C_0 и C_1 содержат относительно небольшое количество кремнезема. Существенное увеличение его содержания начинается с пачки P_1 , достигая максимального значения в пачках P_2-C_3 . Доля оксида кремния в суммарном определении характера пиритизации разреза, а также изучения роли серы в элементном составе пород увеличивается в этих пачках до 75-85%. Пачки P_3 и P_4 также существенно кремнистые, но его содержание уменьшается.

По данным рентгенофазового анализа в его современной интерпретации, которая не допускает предварительного разрушения керогена в сильном окислителе (раствор перекиси водорода), аморфного кремнезема в породах баженовской свиты не обнаружено. Он представлен криптокристаллическим кварцем как в случае хемогенного процесса

Таблица 2 1

Вещественный состав продуктивных пород баженовской свиты

Пачка	Средние значения параметров по пачкам																																							
	Данные по шлифам, %													Данные по физ-химии, % масс										Элементный состав							ФЕС, %									
	Количество обломков	Максимальный размер обломков	Глинистость	Кероген	Карбонатная фауна	Карбонат	Карбонатность суммарная	Кремнистая фауна	Кремний прочий	Кремний суммарный	Ихтиодетрит	Пирит	С _{орг}	Глинистость	Кварц	Кальцит	Доломит	Пирит	каолинит	хлорит	гидроплюда	ССО	набухаемость	Глинистые минералы, % масс (на фракцию <0 01 мм)					SiO ₂ / сумма ПОО	Al ₂ O ₃ / сумма ПОО	CaO+MgO / сумма ПОО	Fe ₂ O ₃ / сумма ПОО	S / сумма ПОО	Fe/S	K/U	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	K _n керосинонасыщением	K _n плотностным методом		
																								каолинит	хлорит	гидроплюда	ССО	набухаемость										максимум	минимум	среднее
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37				
Со	20	5	0 02	19	9	1	12	12	2	43	44	2	10	14	37	35	6	0	8	12	10	53	25	12	67	17	6	6	10	19	1350	5	0 9	14	36	93				
С1	177	5	0 02	21	23	2	7	9	2	25	27	5	14	11	28	38	9	0	14	15	5	55	25	12	62	8	15	10	18	0 6	240	6	1 3	18	39	10				
Р1	156	6	0 02	16	16	11	10	19	14	19	33	7	10	6	17	32	28	12	5	14	7	54	24	11	49	4	40	5	10	0 5	287	12	0 7	21	33	8 5				
С2	189	7	0 02	25	25	3	6	7	11	22	30	3	9	11	35	46	5	0	3	7	5	46	42	19	78	6	2	4	8	0 5	460	13	3 4	20	7 7	10				
Р2	183	6	0 02	19	18	27	10	37	14	19	32	5	7	6	17	48	17	10	2	11	10	44	36	18	80	5	5	3	6	0 6	587	18	0 8	11	2 9	7 8				
С3	64	3	0 01	21	24	15	4	7	8	27	35	5	8	8	25	53	8	6	6	9	62	23	12	86	5	2	2	5	0 5	510	20	1 2	13	3 3	9 5					
Р3	62	5	0 01	16	15	8	15	22	14	23	37	4	8	7	31	45	1	4	1	13	10	55	23	9	77	6	9	3	5	0 6	523	15	1 9	15	1 4	8 4				
Р4	13							80			10		10	7	26	32	15	20	0	12	12	56	20	10	68	5	22	2	2	1	1000	14	3 6	17	10	13				

Примечание *) сумма ПОО - суммарное содержание породообразующих оксидов (SiO₂+Al₂O₃+CaO+MgO+Fe₂O₃)x10⁻²

кристаллизации из морской воды (преобладает в пачках С), так и в случае окремнения радиоляритов и других остатков морской органики (пачки Р).

Относительно распределения карбонатного материала следует отметить, что по всему разрезу в пачках Р встречаются прослой, обогащенные карбонатным материалом, который представлен кальцитом или доломитом. Наиболее карбонатизированными являются пачки Р₂, Р₃ и Р₄. По данным термовесового анализа средняя карбонатность в них достигает 37 и 22% соответственно. В пачке Р₁ значение средней карбонатности снижается до 19%, а во всех пачках «С» она существенно ниже (7-12%). Однако, в отдельных скважинах (например, 4021 Ай-Пимское м-е) в пачке Р₁ зафиксированы прослой с карбонатностью от 35 до 87,5%. Следует однако отметить, что речь идет об отборе карбонатных образцов. При распространении этих данных на всю выборку карбонатность существенно снижается (табл.2.1).

Данные, приведенные в таблице, позволяют уточнить закономерность распределения пирита по разрезу. По данным исследования элементного состава пород видно обогащение им верхних пачек разреза, особенно С₀, С₁ и Р₁, где пирита содержится в среднем от 10 до 14% на пачку. Установлено некоторое завышение содержания пирита, полученного по результатам петрографического анализа в шлифах (до 16-21 %), обусловлено трудностью визуального отделения черных пиритизированных глобуль бактерий от углифицированного керогена. Уточнение проведено методами сканирующей электронной микроскопии. В пределах каждого циклита отмечается повышенное содержание пирита в пачке «С» по сравнению с пачкой Р (табл.2.1). Интервал изменения содержания пирита по всей выборке образцов от полного его отсутствия до 25.5% (скв.4021 Ай-Пимское м-е).

Отмечается существенная глинизация и обогащение керогеном пачек С по сравнению с пачками Р. Исключение составляет пачка С₀, которая, будучи максимально глинистой, содержит меньшее и неравномерно распределенное количество керогена. Наиболее керогеносыщенными в разрезе являются пачки С₁ и С₂. Причем в пачке С₂ керогена содержится даже несколько больше, чем в пачке С₁ (табл.2.1). Природа изменения

содержания органического вещества ($C_{орг}$), на взгляд автора, кроется в различной скорости накопления материала пачек Р и С. Радиоляриты накапливались быстрее, чем глинисто-кремнистый материал. При одинаковой скорости накопления керогено-продуцирующей органики насыщение ею кремнистых и карбонатных построек радиоляритов оказывалось меньшим. Этому способствовало также и различное уплотнение материала.

Петрохимический анализ содержания и соотношения основных породообразующих элементов в скелете баженовских пород позволил полностью подтвердить отмеченные выше закономерности и дополнить их.

В качестве основных геохимических критериев выделения пачек в пределах самой баженовской свиты вполне реально в настоящее время использовать соотношения элементов. Степень сероводородного заражения хорошо контролируется соотношением Fe/S , которое в пределах циклитов C_1P_1 , C_2P_2 и C_3P_3 близко к 0,5. В пачке P_4 и переходной пачке C_0 , оно близко к 1. В перекрывающих отложениях подачимовских глин, где сероводородное заражение бассейна практически отсутствовало, это отношение намного превышает 1. Обогащение породы кальцием и магнием в пределах баженовской свиты свидетельствует о развитии карбонатных разностей пород и однозначно позволяет выделять карбонатизированные прослои. Косвенным критерием содержания органического материала в породе может служить содержание урана. Содержание урана в баженовской свите настолько высоко, что хорошо определяется методом рентгеноспектрального анализа. Содержание урана по этому методу, прекрасно коррелируется со стандартным методом гаммаспектрометрического анализа. С другой стороны в пределах баженовской свиты не удалось подтвердить практическую работоспособность геохимических соотношений Th/U и K/U . Это связано с формированием отложений в достаточно глубоководной части бассейна, когда эти отношения не дают возможности более детально охарактеризовать обстановку осадконакопления.

Относительные глубины или расстояние от береговой линии в момент формирования осадка характеризует распределение в породе таких

элементов как железо и марганец. Эти элементы более подвижны в пресных континентальных водах в виде коллоидных и нормальных растворов. При контакте с соленой морской водой наблюдается выпадение этих элементов в осадок преимущественно в виде окислов и гидроокислов. Причем железо выпадает непосредственно у береговой линии в очень узкой по ширине полосе моря, а марганец несколько дальше от береговой линии в более широком интервале глубин и соленостей морской воды. По распределению этих элементов в пачках отмечается общая для всех трех скважин тенденция. Отмечается систематическое уменьшение содержания как марганца, так и железа от пачки С₁ до пачек С₃-Р₃, а затем достаточно резкий рост их содержания в пачке Р₄. Другим показателем близости суши и привноса терригенного материала служит содержание бария. Максимальное содержание бария отмечается как раз в пачках Р₄ и Р₃, затем его содержание минимально в пачках С₃, после чего его содержание постепенно увеличивается в пачках Р₂-С₂-Р₁-С₁. Все это позволяет предположить, что в начале баженовского века во время формирования пачек Р₄ и частично Р₃ происходило значительное углубление моря, сопровождавшееся его трансгрессией. Максимального размера и глубины море достигло при формировании пачки С₃. В дальнейшем, по-видимому, происходило постепенное обмеление бассейна и медленная регрессия моря.

Неравномерное накопление кремнистого материала в породах подтверждается и по петрохимическим модулям, предложенным А.Н. Нееловым (Неелов А.Н., 1987). Так алюмосиликатный модуль А, характеризующий отношение оксида алюминия и оксида кремния в силикатной части породы, уменьшается от пачки Р₄ к пачке С₃, а затем снова повышается к пачке С₁. По классификации осадочных пород, предложенной А.Н.Нееловым, к чисто глинистым породам относятся разности, имеющие значение модуля А более 0,3. Такие значения отмечаются только в пачках С₀ и С₁, в которых, по-видимому, свободный кремнезем (кварц) практически отсутствует. Минимальные величины модуля А, характеризующие отложения пачек Р₂ и С₃ и имеющие значения близкие к 0,1, как раз характерны для современных кремнистых илов.

Степень химического выветривания пород можно оценить по общей щелочности, которую характеризует модуль N. Этот модуль позволяет оценить содержание щелочных металлов натрия и калия в силикатном скелете породы. Минимальные значения этого модуля отмечаются в породах пачки С₃, что хорошо согласуется со сделанными ранее выводами о наибольшей глубине и размерах моря в это время. С одной стороны интенсивное выщелачивание происходило во время транспортировки терригенного и пелитового материала. С другой стороны большая глубина и удаление от береговой линии были причиной наиболее низкой скорости осадконакопления в этот период и как следствие более длительному контакту осадка с морской водой, что также приводит к более интенсивному выщелачиванию.

Два других петрохимических модуля, соответственно В и М, позволяют оценить содержание несиликатных минералов в скелете и долю магния в суммарном содержании кальция и магния. По содержанию несиликатных минералов отмечается значительное снижение их содержания в относительно более глубоководных отложениях пачек С₂-Р₂-С₃, а максимальные значения модуля В отмечаются в пачка С₁, Р₁ и Р₃. В наиболее карбонатизированных участках баженовских отложений отмечается повышенное содержание кальция. Модуль М в этих отложениях составляет менее 0.4, а в пачках С₁ и Р₁ в скважине 4021 Ай-Пимского месторождения и менее 0.25. Это характеризует состав карбонатного материала в этих участках свиты как преимущественно кальцитовый. В остальных участках с низкой общей карбонатизацией пород отмечается высокая доля магния, характерная для сингенетичной доломитизации кальцита.

Однако перечисленные выше признаки и предложенные на их основе палеогеографические реконструкции характеризуют седиментационную фазу формирования битуминозных отложений баженовской свиты. Они не отражают структурно-текстурных особенностей пород, что существенно снижает перспективу литологического обоснования зон поиска промышленных коллекторов. Усреднение минерально-геохимического

состава приводит к ложному представлению о латеральной однородности одноименных элементов циклитов, вопреки полученным данным о существенных диапазонах изменения составов породообразующих комплексов.

2.3. Характеристика литотипов в разрезе баженовской свиты

Для преодоления этого противоречия проведена дополнительная классификация пород по литотипам. В ее основу положено два определяющих принципа: дифференциации по текстурно-микротектурным признакам и составу основного минерального комплекса. Таким образом, в битуминозном разрезе баженовской свиты выделено пять наиболее распространенных литотипов пород.

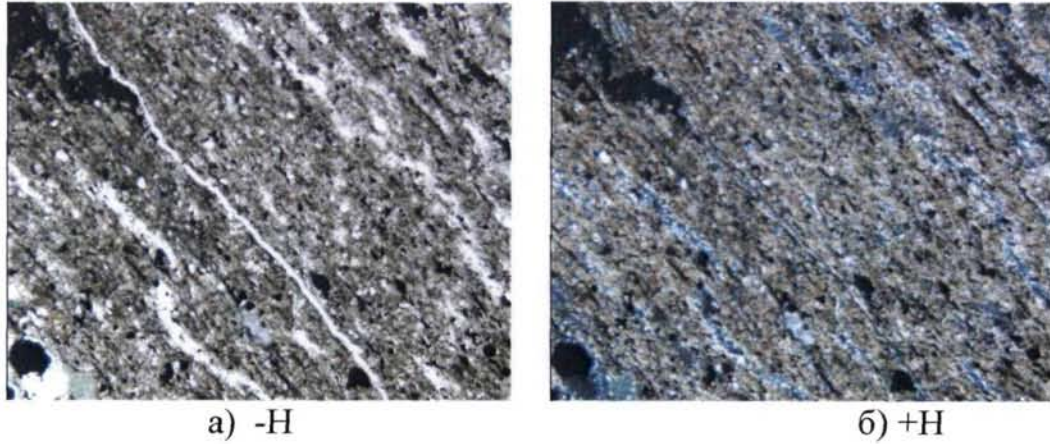
Литотип 1 (тонколистоватые глинисто-кремнистые разности) встречается чаще всего в кровле и подошве баженовского разреза. Он характерен для пачек C_0 и низов пачки P_4 . Породы представлены тонким, листоватым переслаиванием глинистых, кремнистых и битуминозно-углистых прослоев. Толщины миллиметровые. Глинистые минералы представлены гидрослюдой, как правило, с оптической ориентацией чешуек. Кремнистый материал – криптокристаллическими разностями. Как правило, присутствует 5-10% пирита в виде точечных стяжений, тяготеющих к углисто-битуминозным чешуйкам (рис.2.1). В кровле эти породы плавно переходят в отложения подачимовских глин, отличаясь от них зачастую лишь содержанием битума. Последнее обстоятельство затрудняет однозначную отбивку кровли баженовских отложений на каротажных диаграммах.

Литотип 2 (тонколистовато-чешуйчатые глинисто-кремнистые разности) распространен по всему разрезу баженовских отложений, но наиболее типичен для пачек C . Представлен линзовидно-чешуйчатым переслаиванием глинистых и кремнистых прослоек, насыщенных битуминозным веществом. Примесь пирита и карбонатного материала, как правило, не превышает 5-10% (рис. 2.2.)

Литотип 3 (тонколистовато-чешуйчатые глинисто-карбонатно-кремнистые разности) выделяется в том случае, когда в породах литотипа 2 примесь карбонатного материала превышает 10-15%, но не более 50%. При этом карбонатный материал может быть представлен как рассеянными в породе мелкими зернами (рис.2.3., а, б), так тонкими, единичными карбонатными прослоечками (рис. 2.3., в, г). Этот литотип тоже достаточно распространен по всему разрезу и встречается как пачках С так и в пачках Р.

Литотип 4 (радиолярит кремнистый) представлен кремнистыми радиоляритами (рис. 2.4), а *литотип 5* –известковыми радиоляритами (рис. 2.5.). При этом степень известковистости варьирует у обеих в широких пределах. Но для литотипа 4 она не превышает 50%. К литотипу 5 (радиолярит кремнисто-карбонатный) относятся те радиоляриты, в которых известковистость более 50%. И тот и другой радиоляриты характерны для пачек Р, хотя в виде тонких единичных прослоев могут встретиться и в пачках С. Битумный материал присутствует в обоих литотипах в виде прожилков, мелких включений, выполняет внутренние полости радиолярий, обволакивает их снаружи в виде тонкой «вуали». В пачке Р₄ породы литотипа 5 часто бывают обогащены пиритом и глобулями глауконита, что роднит их с подстилающими отложениями георгиевской свиты.

Литотипы 1, 2 и 3 характерны для пачек С. В пачках Р, наряду с первыми тремя, встречаются и литотипы 4 и 5. Другими словами, литотипы 1, 2, 3 распространены, практически во всех пачках, а литотипы 4 и 5, чаще встречаются лишь в пачках Р (табл.2.2). Существенной литологической особенностью битуминозных отложений является разнообразие составов пород как по площади рассматриваемой территории, так и по типам разрезов на отдельных месторождениях. Если, например, сравнить состав пачки С₁, то обращает на себя внимание однородность разреза на Ульяновском месторождении, в то время как на Ай-Пимском и Западно-Камыньском в скважинах с промышленной продуктивностью (4021 и 3821 соответственно) к литотипам со слоисто-чешуйчатой текстурой добавляется кремнисто-



а) -Н

б) +Н



в) -Н

Рис.2.1. Микрофотографии шлифов образцов пород, отнесенных к литотипу 1:

а), б). Ульяновская пл., скв. 3307, обр.2057. Инт-л 2927-2931,5 м, м.в. 0,58 м от в. Пачка Р₄. Тонколистоватая слабобитуминозная глинисто-кремнистая порода. Глина представлена гидрослюдой с оптической ориентацией чешуек.

в) Ай-Пимская пл., скв.4008, обр 14948. Пачка С₀. Аргиллит гидрослюдистый, тонколистоватый, углистый, слабобитуминозный.

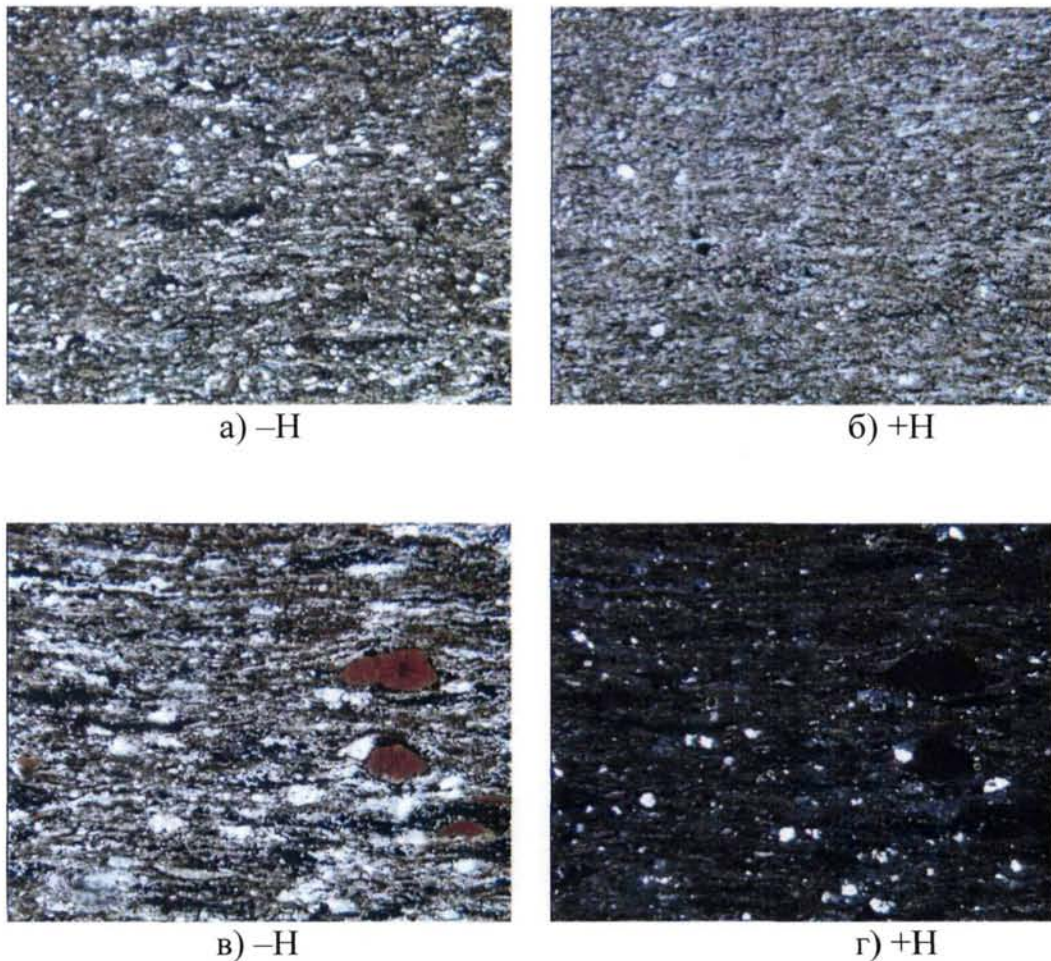


Рис.2.2. Микрофотографии шлифов образцов пород, отнесенных к литотипу 2:

а), б). Ульяновская пл., скв. 3307, обр.2036. Инт-л 2909-2917 м, м.в. 7,55 м от в. Пачка С₃. Битуминозная глинисто-кремнистая порода с тонколистовато-чешуйчатой текстурой основной массы.

в), г). Ульяновская пл., скв. 3305, обр.1956. Инт-л 2888-2896 м, м.в.3,64 м от в. Пачка С₁. Битуминозная глинисто-кремнистая порода с тонколистовато-чешуйчатой текстурой основной массы, с включениями мелких линзочек криптокремнезема, ихтиодетрита и мелких обломочков кальцита.

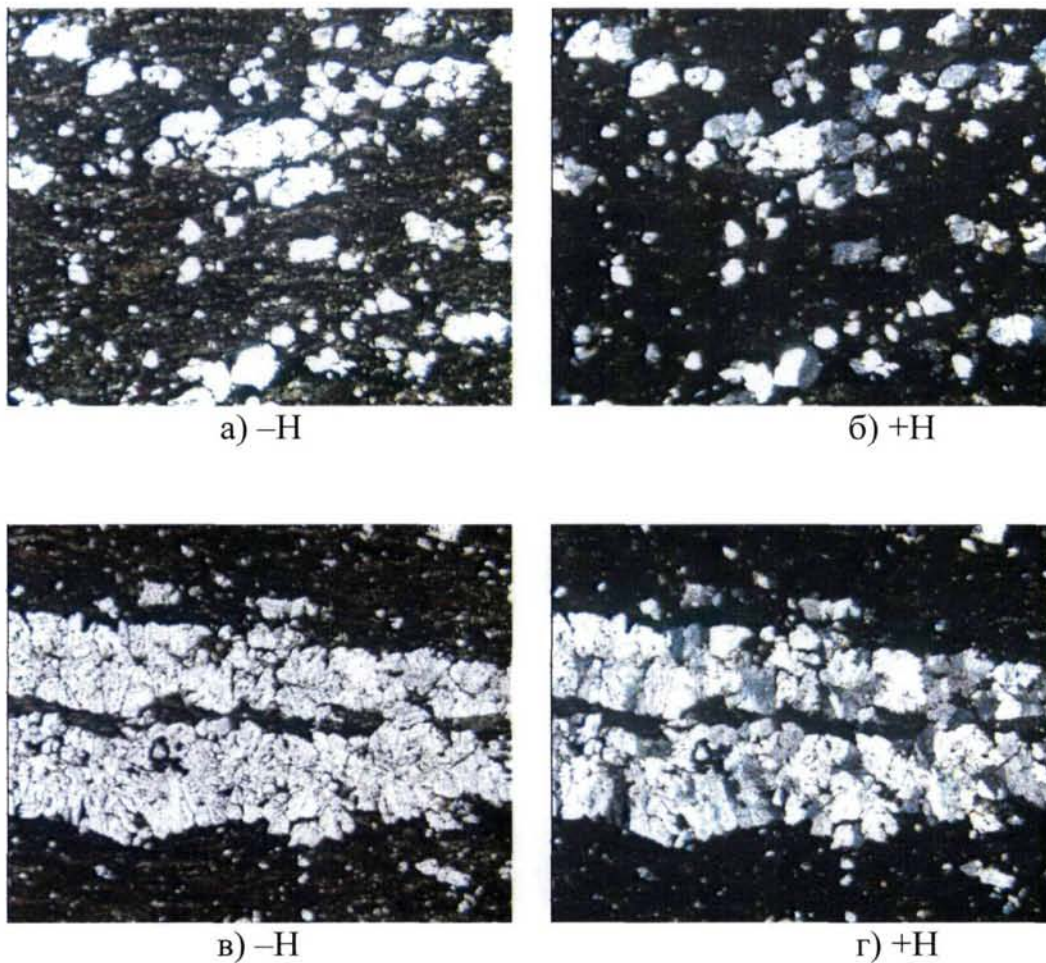


Рис.2.3. Микрофотографии шлифов образцов пород, отнесенных к литотипу 3:

а), б). Ульяновская пл., скв. 3305, обр.1972. Инт-л 2896-2904 м, м.в.4,76 м от в. Пачка P_1 . Включения кальцита в тонколистовато-чешуйчатой глинисто-карбонатно-кремнистой основной массе породы.

в), г). Прослой органогенного известняка в тонколистовато-чешуйчатой глинисто-карбонатно-кремнистой основной массе породы.

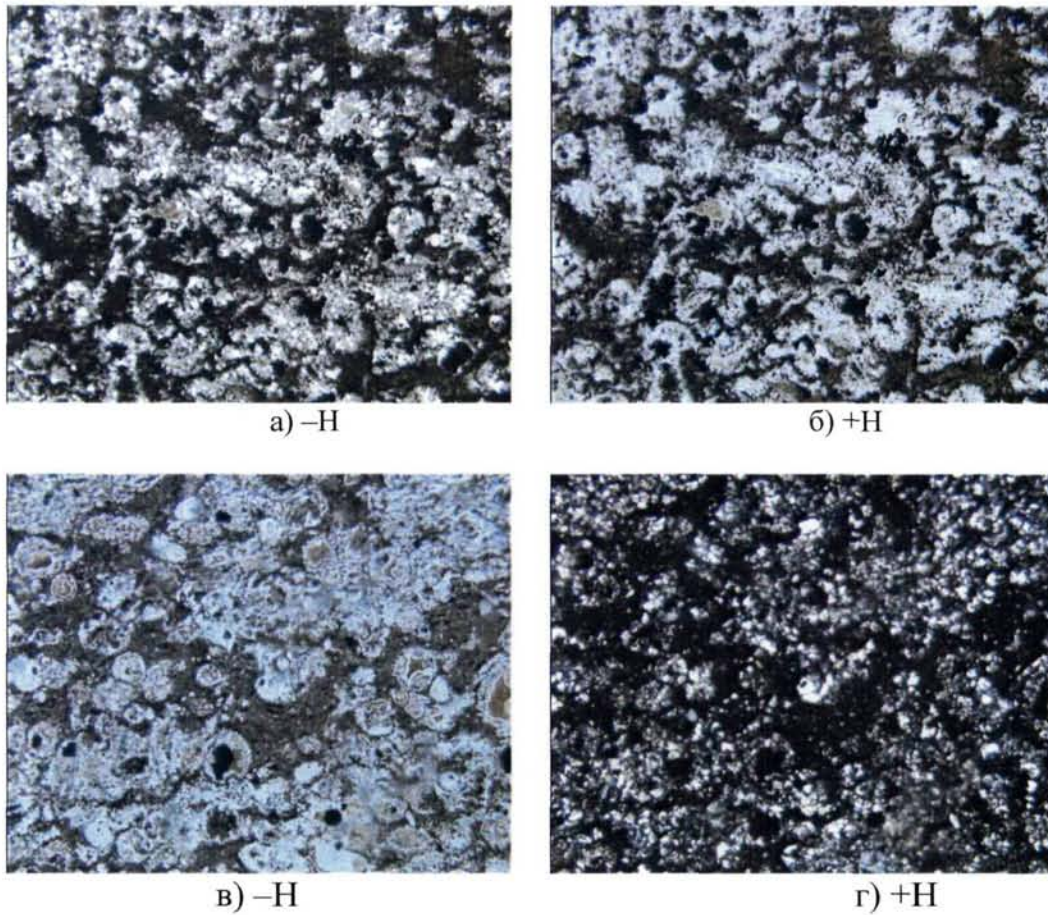


Рис.2.4 Микрофотографии шлифов образцов пород, отнесенных к литотипу 4:

а), б) Ульяновская пл., скв. 3305, обр.1997. Инт-л 2912-2917 м, м.в. 0,56 м от в. Пачка Р₄. Кремнистый радиолярит битуминозный, пиритизированный.

в), г). Ульяновская пл., скв. 3307, обр.2051. Инт-л 2921,5-2927 м, м.в. 1,76 м от в. Пачка Р₄. Битуминозный кремнистый радиолярит, слабо фосфатный.

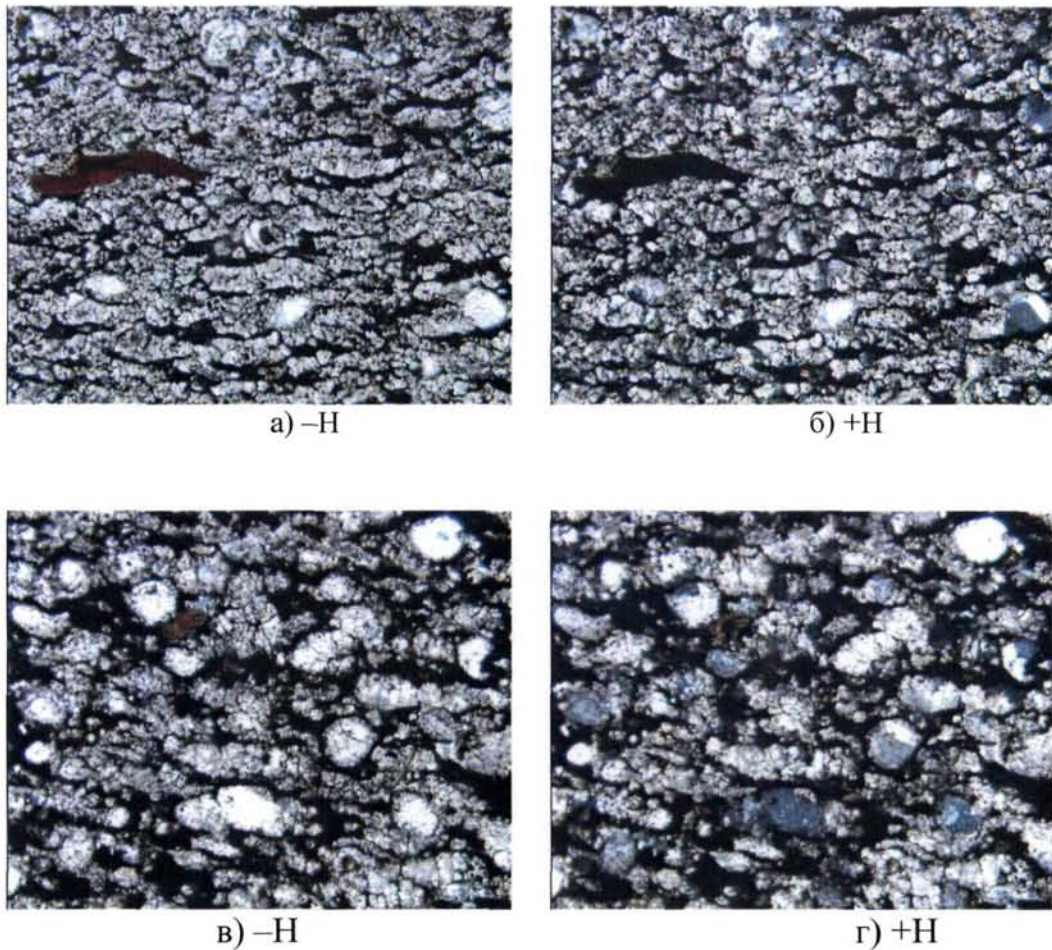


Рис.2.5 Микрофотографии шлифов образцов пород, отнесенных к литотипу 5:

а), б). Ульяновская пл.,скв. 3305, обр.1960. Инт-л 2888-2896 м, м.в.5,36 м от в. Пачка Р₁. Прослой органогенного известняка (радиолярита) с прожилками керогена.

в), г). Ульяновская пл.,скв. 3307, обр.2043. Инт-л 2917-2921 м, м.в. 2,5 м от в. Пачка Р₃. Радиоляритовый известняк с «битумной вуалью».

карбонатный радиолярит (литотип 5). В то же время пачки С₃ и Р₃ на Ульяновском месторождении в каждой скважине имеют индивидуальный тип разреза.

Литолого-геохимическая характеристика и оценка емкости (пустотности) литотипов битуминозных пород, а также основные геохимические параметры керогена приведены в таблице (табл.2.3.).

Выделение листовато-чешуйчатых разностей и радиоляритов кроме всего прочего подчеркивает двойственную (хемогенную и биогенную) природу баженовского породообразующего комплекса.

Кроме того, предложенный текстурно-структурный подход к классификации битуминозных пород содержит контролирующий элемент для существующих в продуктивных отложениях нефтематеринской свиты механизмов формирования коллекторов: автофлюидоразрыв и образование кавернозно-трещинных коллекторов в зонах механических напряжений тектонической природы.

Глава 3. Природа коллекторов в битуминозных породах и способ определения их емкости и нефтенасыщенности по керну

В процессе многолетнего исследования баженовской свиты накопилось много противоречий, которые в рамках традиционных представлений оказались трудно разрешимыми. По сути, до настоящего времени для пласта ЮС₀ не существует достаточно обоснованных методик локального прогноза нефтеносности, поиска коллекторов и даже подсчета запасов. И лишь в последние годы наметилась устойчивая тенденция к их разрешению. В этой связи следует отметить методологически важные для Западной Сибири работы геофизиков Н.М.Белкина, В.И.Ибраева, Е.Д.Глухманчука и других по интерпретации данных сейсморазведки (Белкин Н.М., Ибраев В.И., 2003), М.Ю.Зубкова с соавторами по лабораторному моделированию напряжений в осадочных комплексах (Зубков М.Ю. и др., 2001, 2004) и т.д .

Таблица 2.2

Классификация битуминозных пород продуктивных отложений
баженовской свиты в скважинах по литотипам в пачках С и Р

Месторождение, скважина		Литотипы				
		1	2	3	4	5
П а ч к а С ₀						
Ай-Пимское	4008		+		+	
Биттемское	30	+	+		+	
П а ч к а С ₁						
Ай-Пимское	4008	+			+	
	4021	+				+
Биттемское	30		+	+		+
Западно- Камыньское	540	+		+		
	3821	+		+		+
Сахалинское	11			+		
Ульяновское	3003		+	+		
	3005		+	+		
	3006		+	+		
	3007		+	+		
П а ч к а Р ₁						
Ай-Пимское	4008	+			+	+
	4021		+	+		
Биттемское	30		+	+	+	+
Западно- Камыньское	540	+		+	+	
	3821		+		+	+
П а ч к а С ₂						
Ай-Пимское	4008	+		+		
	4021	+	+			
Биттемское	30		+	+		
Западно- Камыньское	3821		+			
Ульяновское	3005		+			
	3007		+			
П а ч к а Р ₂						
Ай-Пимское	4008		+	+	+	
	4021		+	+	+	
Биттемское	30		+			

(продолжение таблицы 2.2)						
Западно-Камыньское	540					+
	3821					+
Сахалинское	11	+			+	
Ульяновское	3004		+	+		
	3005		+	+		
	3007		+		+	
П а ч к а С ₃						
Ай-Пимское	4008		+			
	4021		+			
Биттемское	30		+			
Западно-Камыньское	540		+			
	3821		+			
Ульяновское	3005			+		
	3006	+				
	3007		+	+		
П а ч к а Р ₃						
Ай-Пимское	4008	+	+			
	4021		+	+	+	+
Биттемское	30		+	+		
Западно-Камыньское	540		+		+	
Ульяновское	3003			+	+	
	3005		+			+
	3007		+	+		+
П а ч к а Р ₄						
Ай-Пимское	4008				+	+
	4021			+		+
Биттемское	30		+	+		
Западно-Камыньское	540		+	+		+
Сахалинское	11	+		+		
Ульяновское	3004		+			
	3005	+		+	+	
	3007	+	+	+	+	
Таблица 2.2						

Раздел 1 Емкость, плотность

Литотипы	Кл керосинонасыщением %	Плотность объемная г/см ³	Плотность минералогическая расчетная г/см ³	Плотность пикнометрическая до экстракции г/см ³	Плотность пикнометрическая после экстракции, г/см ³	Кл плотностным методом %
1	148	228	232	242	250	679
2	135	225	228	237	242	631
3	095	229	231	241	247	635
4	127	227	230	245	249	382
5	166	237	241	253	262	336

Комплексная характеристика литотипов битуминозных пород Баженовской свиты

Раздел 2 Литолого-минералогическая характеристика

Литотип	Кол-вообломков	Глина	Кероген	Карбонатная фауна	Рассеянный карбонат	Общая карбонатность	Термобессвой анализ,			Кремниста яфауна	Рассеянный кремнезем	Общесодержаниекремн истогоматериала	Ихтиодетрит	Пирит	Пирит (расчетным методом по химическому составу), % масс
							кальцит	доломит	ОПВ						
1	718	2710	1868	169	433	603	1104	1033	2138	371	3523	3858	307	1068	887
2	434	2345	1699	174	402	585	632	125	757	661	3968	4557	353	939	58
3	379	2055	1366	652	1256	1835	540	1735	2275	648	3277	3904	484	1194	443
4	340	1982	1550	350	675	998	1123	139	1261	3083	3017	6100	287	935	439
5	247	1492	1410	2348	2738	5087	1734	1994	3728	441	1775	2148	352	1340	425

Раздел 3 Геохимическая характеристика

Литотипы	Tmax	Сорт, мг УВ/г породы	SiO ₂ / *) сумма ПОО	Al ₂ O ₃ / сумма ПОО	CaO+MgO / сумма ПОО	Fe ₂ O ₃ / сумма ПОО	S / сумма ПОО	Mg/Ca	(Fe+Ti+Mn)/(Ca+Mg)	Sr/Ga	Sr/Ba	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	S, % масс	Fe, % масс	Fe/S	V2O5	SS=La Luφ
1	440	895	777	115	45	64	61	29	21	85	03	824	4988	57	473	482	06	01762	00310
2	441	945	809	103	46	43	47	-37	20,	98	02	785	6137	76	309	326	07	01105	00223
3	440	893	815	90	59	36	38	23	14	231	02	691	6308	87	236	228	06	01230	00155

Таблица 2.3

В области теории механохимических процессов в конце прошлого века также наметился серьезный прорыв и из эмпирической она превратилась в научную (Аввакумов В.Г., 1986). Следует отметить, что еще в двадцатые годы прошлого столетия для описания процессов минералообразования геологами А.В.Казанцевым, М.Н. Родченко высказывались идеи о влиянии энергии тектонических деформаций на термодинамическое состояние систем, а отсюда на несоответствующее текущим термобарическим условиям протекание природных процессов. Однако в то время никакой научной базы для доказательства справедливости этой догадки не существовало.

Применение для интерпретации процессов постседиментационного преобразования битуминозных пород современных представлений позволили на базе полученных результатов исследования их вещественного состава, морфологических и физико-химических (преимущественно термогравиметрических и теплофизических) характеристик предложить механохимическую модель формирования коллекторов в баженовской свите.

3.1. Механохимическая модель формирования коллекторов

Среди распространенных в настоящее время тектонозависимых моделей формирования коллекторов в битуминозных отложениях баженовской свиты, - геофизических (Н.М.Белкин, В.И.Ибраев, А.Н.Добрынин, Е.Д.Глухманчук и др.), геологических (И.И.Нестеров, А.Э.Конторович, В.П.Сонич, М.Ю.Зубков), - наиболее близкой по доказательной базе (лабораторные исследования пород и анализ деформаций) к предлагаемой механохимической являются модели, разрабатываемые в течение ряда лет М.Ю.Зубковым. Собственно она представляет собой не столько альтернативную идею, сколько систему представлений о механизмах реализации констатируемых авторами напряженных состояний в веществе (породообразующий комплекс, кероген, нефть). По М.Ю.Зубкову в результате тектонических процессов в битуминозных отложениях (он это показал на экспериментальных моделях)

возникает, в первом приближении, система напряжений, которая приводит к образованию преимущественно уплотненных и преимущественно разуплотненных участков. Он полагает (и обоснованно), что разуплотнение связано с образованием трещиноватости. Однако, если рассматривается только упругий вид деформации, остается непонятным, во-первых, почему «не работает» литологический фактор, а, во-вторых, почему отсутствует зональность в размещении продуктивных зон по отношению, например, к разлому (есть только тенденция). М.Ю.Зубков не рассматривает фактор пластической деформации толщи, который велик, а по влиянию на породообразование даже превалирует над влиянием упруги деформаций.

Механохимическая модель не опротестовывает модель образования трещинной емкости в результате упругих напряжений, равно как и модель автофлюидоразрыва, например, - все эти механизмы являются отдельными элементами тектонозависимой трансформации битуминозного комплекса баженовских пород в геологическом времени. Она рассматривает битуминозную толщу как единую систему, в которой взаимообусловлены и взаимосвязаны все физические и физико-химические процессы, происходящие под влиянием внешнего (механического) на систему воздействия. Но рассматривает их с учетом вещественного состава системы и через его изменения в результате внешних воздействий. Следует отметить, что эта модель строится на пока нераспространенной в геологической научной практике системе знаний, у истоков которой сто лет назад стояли геологи, но развитие свое она обрела в технологии искусственных материалов и только в последние годы снова возвращается в геологию.

В первом приближении баженовская свита по отношению к подстилающим ее отложениям васюганской и тюменской свит является пластичной. Известно, что пластические деформации по сравнению с упругими более энергоемкие. По отношению к химическим процессам это означает, что они протекают при более низких температурах, чем в условиях классических термодинамических систем. Растворимость веществ (минералов), скорость и направление реакций также регулируется механическим воздействием через различные виды деформаций, среди

которых пластическая – наиболее эффективна. Кроме того, баженовская толща является системой несопряженной, то есть изолированной в локальной зоне единичного коллектора. Литологическая неоднородность отложений приводит к сочетанию пластически деформируемой толщи в целом с упругими деформациями на отдельных ее участках. В листовато-чешуйчатых разностях одновременно с образованием углеводородов формируются ослабленные участки с матричной (псевдогранулярной) и микротрещиной пустотностью, в радиоляритах – дополнительно макротрещинная при превышении предела прочности породы.

Механохимическая модель зависит от двух факторов дополняющих и усиливающих друг друга: с одной стороны это нарастающее горное давление (статический фактор), а с другой зависимое от тектонических процессов изменяющееся перераспределение пластических и упругих напряжений в породе (динамический фактор). Предполагается, что динамический фактор определяет своего рода «химический насос», который смещает равновесие в комплексе химических и биохимических процессов преобразования органики в сторону образования консолидированной нефти. Автофлюидоразрыв в этом случае представляет собой заключительную часть процесса, когда образуется первичная емкость для достижения протонейфтью консолидированного состояния. На рис.3.1 представлены электронномикроскопические снимки такого участка характерной чечевицеобразной замкнутой формы, образованной микротрещинами, замыкающимися по краям, (а) толщиной от 2-3 до 30-40 мкм и более (б). Определение размеров микротрещин стало возможно благодаря выделению серы при окислении на воздухе сорбированного сероводорода и (или) меркаптанов, в избытке насыщающих эти породы

На втором этапе уже сформированная и заполненная консолидированной нефтью система первоначального коллектора, представленная в виде замкнутых микрозон, объединяется в промышленны

прочности. Здесь возможны два варианта: в первом случае макротрещины не выходят за пределы свиты (диффузия углеводородов в подстилающие и покрывающие проницаемые породы невозможна, система остается замкнутой), во втором случае они нарушают замкнутость системы (возможна диффузия за пределы свиты). Формирование залежей нефти в пласте Юсо (битуминозные отложения) происходят только по первому варианту, поскольку по второму происходит отток образовавшейся нефти за пределы свиты либо в аномально-опесчаненную часть ее собственного разреза.

По типу промышленные коллекторы пласта ЮСо баженовской свиты трещинные и кавернозно-трещинные. Однако, в целом структура порового пространства имеет более сложный характер. К особенностям нефтематеринских отложений баженовского типа следует отнести формирование пустотного пространства псевдогранулярного типа в процессе катагенетического преобразования керогена и последующего перераспределения образующихся (накапливающихся) углеводородов в слабопроницаемых породах. Такого типа пористость развивается во всех литотипах баженовских пород. Зоны ее развития представляют собой по данным сканирующей электронной микроскопии несообщающиеся между собой линзовидные участки микротрещиноватости, образующиеся по механизму деформаций напряжения. Кроме того, в ее состав входят микрокаверны, возникающие в результате вторичного минералообразования, и пустоты со сложной морфологией, возникающие в результате минерального замещения преимущественно органических остатков (пиритизация микроорганизмов), а также перекристаллизации минерального биогенного материала (криптокристаллический кварц по радиоляритам, вторичная доломитизация по кальциту). Но образование пустотного пространства за счет вторичного минералообразования имеет подчиненный характер.

Таким образом, на первом этапе одновременно в результате сочетания термодинамических (горное давление, снижение массообмена, рост температуры) и механических (возникновение зон напряжения и разгрузки, пластические деформации) факторов из захороненного и аккумулируемого

органического вещества (керогена) образуются углеводороды и формируется структура первоначального псевдогранулярного коллектора.

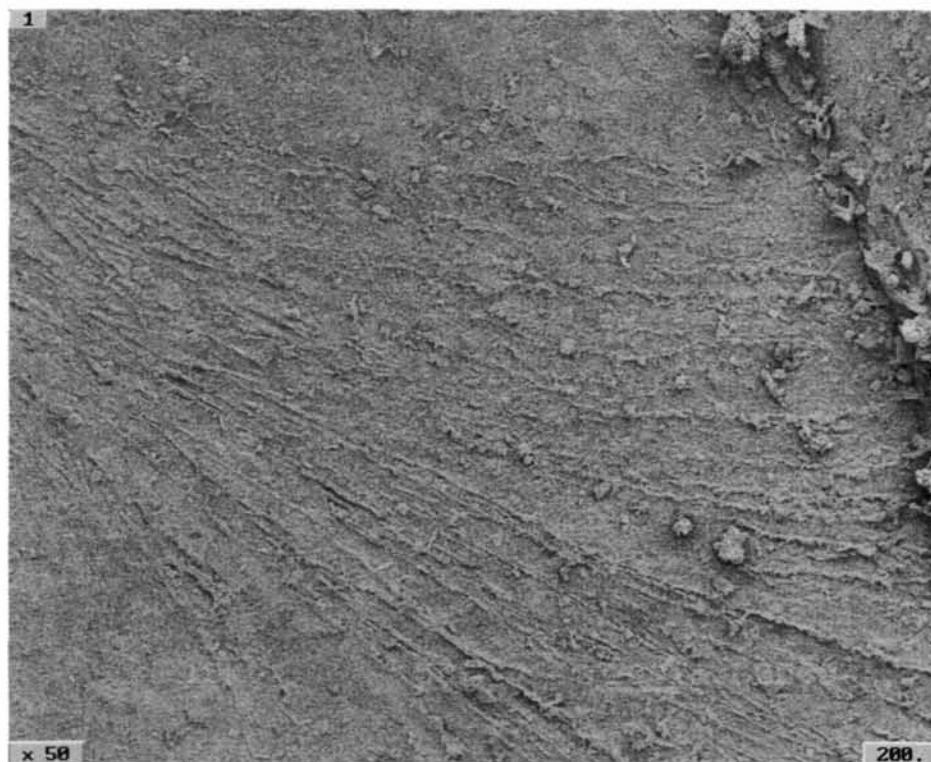
Помимо микротрещиноватости на отдельных участках территории, к которым относится прежде всего Ай-Пимское месторождения в зоне повышенной тектонической активности наблюдаются образование различных систем трещин: вертикальных и горизонтальных в сочетании с плоскостями скольжения, трещин разрывных, заполненных иногда брекчированным глинисто-кремнистым материалом, иногда выполненных кремнистым или залеченных карбонатным либо кремнистым (кварцем) материалом (продукт гидротермальной проработки в зонах разломов). Почти всегда все подобные типы трещин содержат битумное вещество. В разрывных трещинах иногда наблюдаются несколько генерации битумов (рис.3.2).

3.2. Роль керогена в образовании промышленных скоплений углеводородов

Результаты лабораторных исследований показали, что изменчивость количественного содержания и катагенетической преобразованности керогена не позволяет использовать его в качестве одного из классификаторов, поскольку при этом классификация неоправданно усложняется. Наиболее ярко метастабильность керогена иллюстрируется по результатам электронномикроскопического изучения битуминозных пород баженовской свиты, подвергшихся термической проработке в процессе лабораторного моделирования внутрипластового горения (ВПГ).

Была предпринята попытка разобраться в природе керогена путем регистрации его техногенной эволюции, аналогичной природной, только ускоренной многократно: определение морфологических признаков процессов дистилляции (испарения) и деструкции керогена (рис.3.3)

Процесс дистилляции легких углеводородных компонентов керогена наиболее ясно иллюстрируется на примере уменьшения объема («усыхания»)



а)



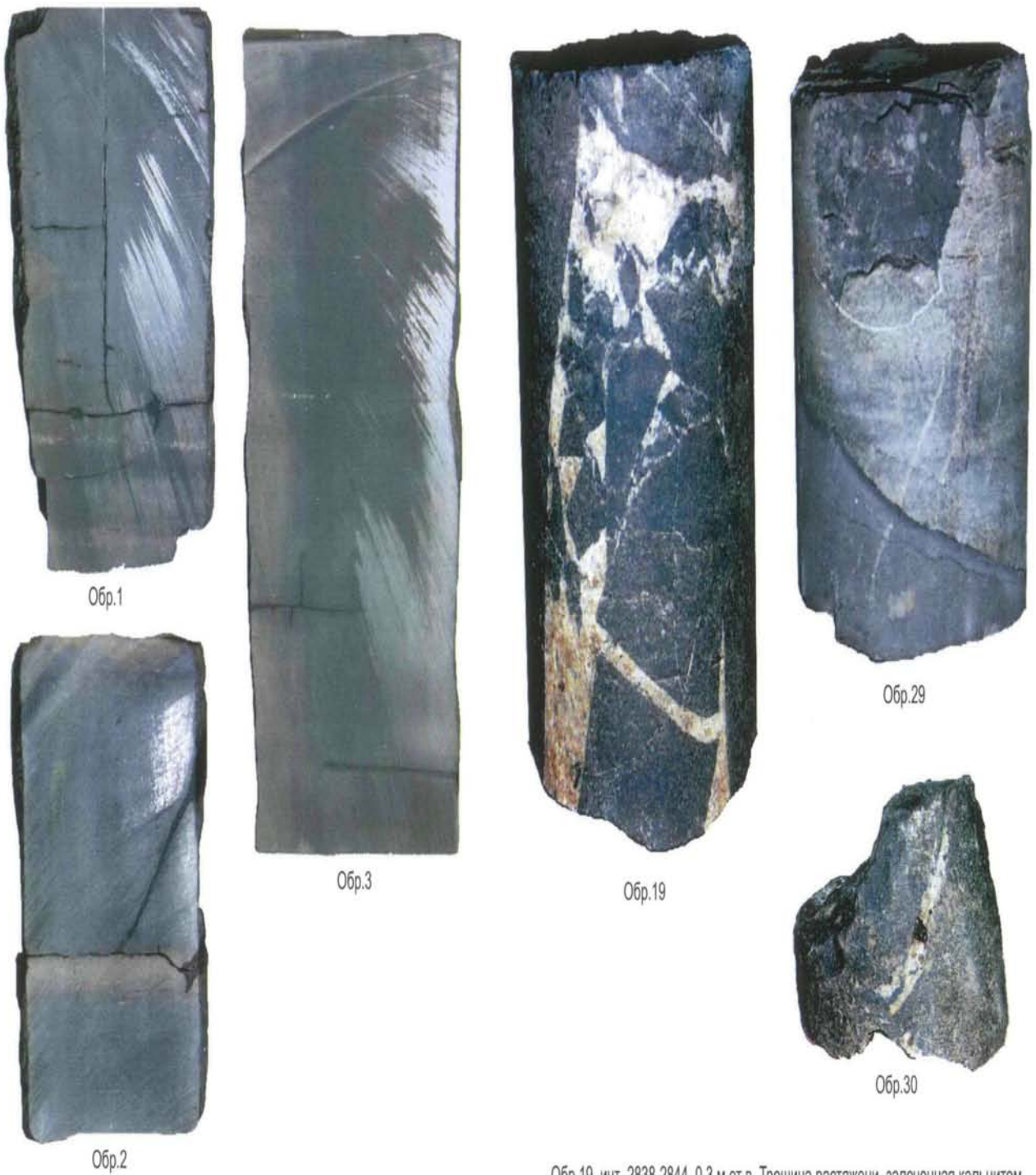
б)

Рис.3.1 Электронномикроскопические снимки свежего скола битуминозного силицита с микротрещинной пустотностью, подчеркнутой выделениями серы. Увеличение: а) 50х; б) 150х (Сахалинское месторождение, скв.20, пласт ЮС₀, нтервал 3003,5-3016 м, 3.45 м от кровли интервала).

битуминизированной микрофауны полной сохранности. Указанный микроорганизм был обнаружен на свежем сколе в «центре» (рис.3.3а). Размер образующегося пустого пространства между краями вмещающей породы и битуминизированного микроорганизма составляет до 10% от первоначального объема. Просмотр при больших увеличениях подтвердил высокую сохранность объекта: отчетливо просматривается «усыхание» отдельных камер микроорганизма вдоль минеральных перегородок, вплоть до образования сети тонких микротрещин (раскрытость – доли мкм) по полю сплошной битуминизации. Размер микроорганизма 2 мм. Обращает на себя внимание, что вмещающая порода не содержит сколь-нибудь развитой системы проницаемых каналов. Участками наблюдаются отдельные скопления пор и микрокаверн.

На рис.3.3б представлено электронномикроскопическое изображение свежего скола образца, на котором отчетливо видны неупорядоченные чередования уплотненных зон (фрагмент «а») и разуплотненных зон (фрагменты «b» и «с»). В разуплотненных зонах сплошное поле черного массива проработано системой каналов, объединяющихся в скопления.

Неравномерное распределение таких скоплений указывает на вероятное перераспределение органического материала керогена в породе и возможную неоднородность его углеводородного состава. Оно также подчеркивает неоднородную природу минеральной матрицы породы (линзовидные зоны, включения и т.п.). В отличие от уплотненных участков участки разуплотнения выполнены преимущественно гидрослюдой. В зонах развития пустотного пространства – это чистые пластинки гидрослюды и их агрегаты правильной формы (рис.3.3 в). Контуры пластинок правильные, без следов окатанности или изломов. Характер распределения - хаотично-упорядоченный, который характерен для аутигенных форм глинистых минералов в порах терригенных коллекторов. Указанные признаки свидетельствуют об образовании гидрослюды по аутигенному хемогенному механизму. На рис.3.3г представлено электронномикроскопическое изображение канала с истонченными углеродными пластинками керогена, утратившего углеводородную составляющую. Они выполняют стенки



Обр.1, Обр.2 - Схв.4035, интервал 2826-2838 м.
 Обр.3 - Схв.4031, интервал 2861-2866 м.

Обр.19, инт. 2838-2844, 0.3 м от в. Трещина растяжени, залеченная кальцитом. Видны обломки породы заполняющие трещину.
 Обр.29, инт. 2838-2844, 1.35 м от в. Тонкие трещины, залеченные кальцитом.
 Обр.30, инт. 2838-2844, 1.45 м от в. Трещина брекчевания, залеченная кальцитом.

а) незалеченные вертикальные и горизонтальные трещины

б) залеченные трещины

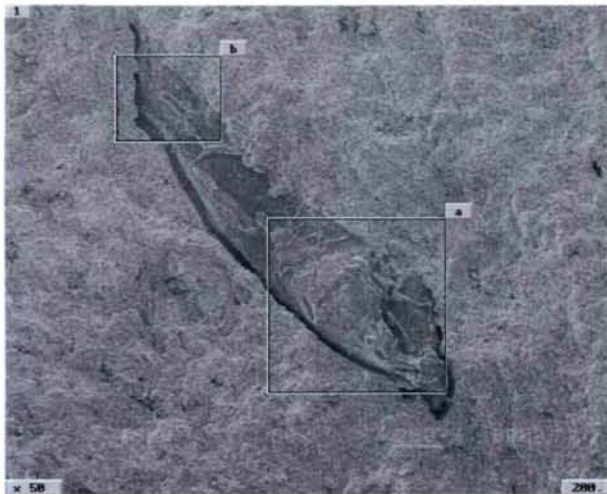
Рис.3.2 Трещинообразование в битуминозных породах баженовской свиты на примере Ай-Пимского месторождения

проницаемого канала размером до 5 мкм, который изначально был заполнен первичным керогеном полностью. Вероятнее всего дистилляция УВ в геологическом времени приводит к формированию первичного порового (микротрещинного) проницаемого пространства, петрофизические параметры которого изменяются во времени. В этой модели существенно важную роль могут играть внешние факторы: гидротермальные газо-жидкостные эманации, углеводородная проработка и т.п.

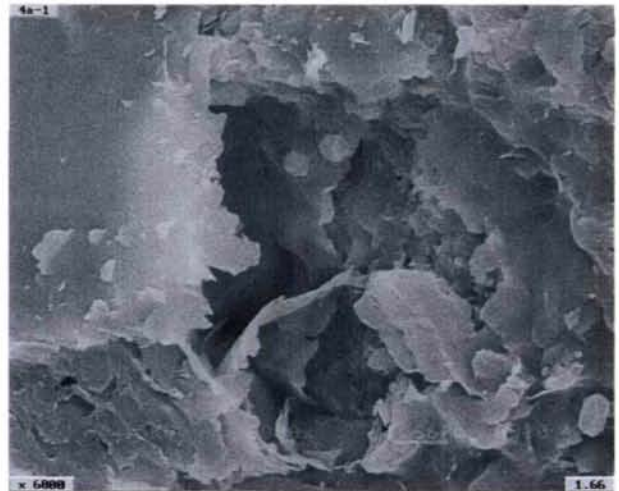
Учитывая изменчивость керогена, его определяющую роль в формировании первичного коллектора битуминозной породы всех литотипов и главенствующую в образовании при термобарических трансформациях УВ (протонефти), представляется необоснованным использовать его как классифицирующий признак породы. Предлагается по аналогии с терригенными отложениями выделить кероген в качестве цемента битуминозных пород баженовской свиты, каковым он, по сути, и является, и описывать его в качественном и количественном отношении независимо от минеральной матрицы.

Опираясь на работы Н.Б.Вассоевича, Т.В.Дорофеевой, Ф.Г.Гурари, Т.Т.Клубовой, Н.В.Лопатина, А.Э.Конторовича, О.К.Баженовой, Т.К.Баженовой, С.Г.Неручева, Е.А.Рогозиной, И.И.Нестерова, В.П.Соница, И.Н.Ушатинского, В.К.Шиманского и других ученых по исследованию природы и механизмов преобразования органического вещества в нефтематеринских отложениях баженовской свиты, диссертант считает, что из всего их породообразующего комплекса кероген является наиболее чувствительным индикатором, всех этапов формирования продуктивных отложений на в пиндикатором процессов, контролирующих образование их промышленных скоплений. Поэтому было уделено больше внимание его изучению.

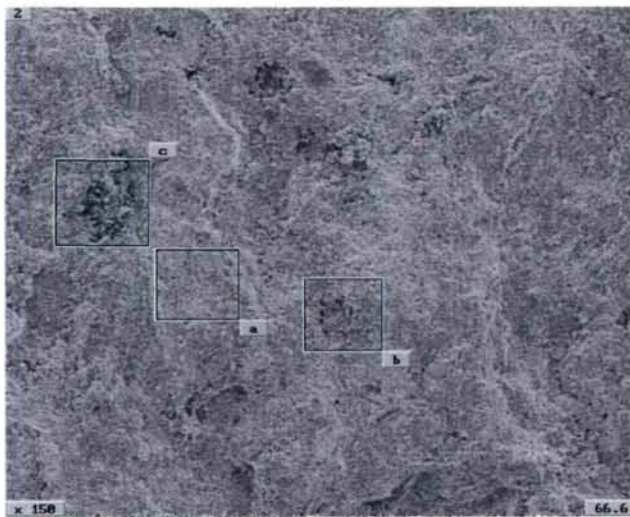
Комплекс физико-химических методов исследования керогена позволил выявить закономерности его изменения по разрезу и площади. На рис. 3.4а представлены результаты пиролитического измерения максимальной температуры дистилляции тяжелых компонентов керогена



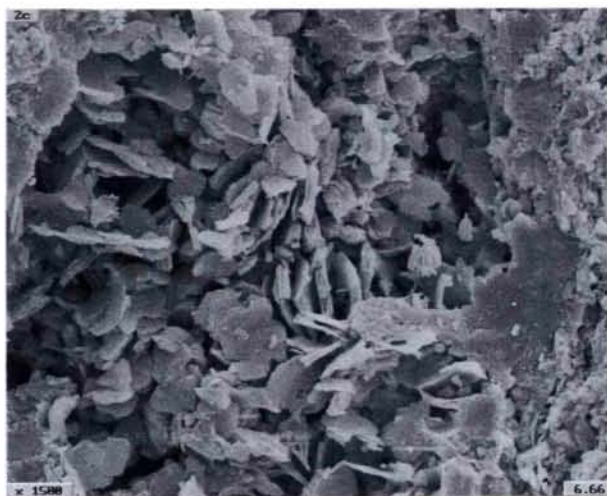
а)



г)



б)



в)

Рис.3.3

Электронномикроскопические снимки образцов битуминозных пород после термовоздействия при моделировании внутрипластового горения (ВПГ):

а) потеря керогеном подвижных углеводородов приводит к объемной усадке битумной составляющей до 10-15% (морской микроорганизм хорошей сохранности, выполненный битумом), увеличение 50х;

б) возникновение зон повышенной проницаемости перпендикулярно напластованию, увеличение 150х;

в) увеличенное изображение области проницаемого канала (участок С), увеличение 1500х;

г) пластинчатый углеродный «скелет» керогена после потери углеводородной компоненты при термической проработке в процессе ВПГ, увеличение 6000х.

(T_{max}) и водородного индекса HI, который определяется как соотношение количества тяжелых углеводородов в органическом веществе (керогене).

Очевидно, что это совокупная сравнительная оценка катагенетической преобразованности последнего. Полученные данные показывают, что существует значительная латеральная неоднородность катагенетической измененности керогена на изучаемой территории. Учитывая, что район исследований невелик и в пределах каждого элемента циклита описывается как единый палеогеографический комплекс (глубина моря, соленость, климат) адекватная дифференциация исходной органики по типу маловероятна. Кроме того, пластовые термодинамические параметры (пластовое давление, степень АВПД, температура) не объясняют такой существенной дифференциации. Сравнительный корреляционный анализ содержания органического вещества (C_{org}) и углеводородного потенциала породы (S_2) в каждой скважине и по месторождениям (рис.3.4б) позволил отметить два важных генетических обстоятельства: во-первых, зависимость S_2 от C_{org} в каждой конкретной точке территории (координата скважины) описывается линейным уравнением во всем диапазоне регистрируемых параметров с коэффициентом корреляции $R^2 > 0.85$; во-вторых, корреляционные графики по отдельным скважинам располагаются по координатному полю не хаотически, а группами по месторождениям. Причем различная продуктивность, отмеченная в скважинах, не «выносит» график за пределы диапазона данного месторождения.

Итак, латеральная изменчивость керогена очевидна. Попробуем разобраться в характере его измерения с глубиной.

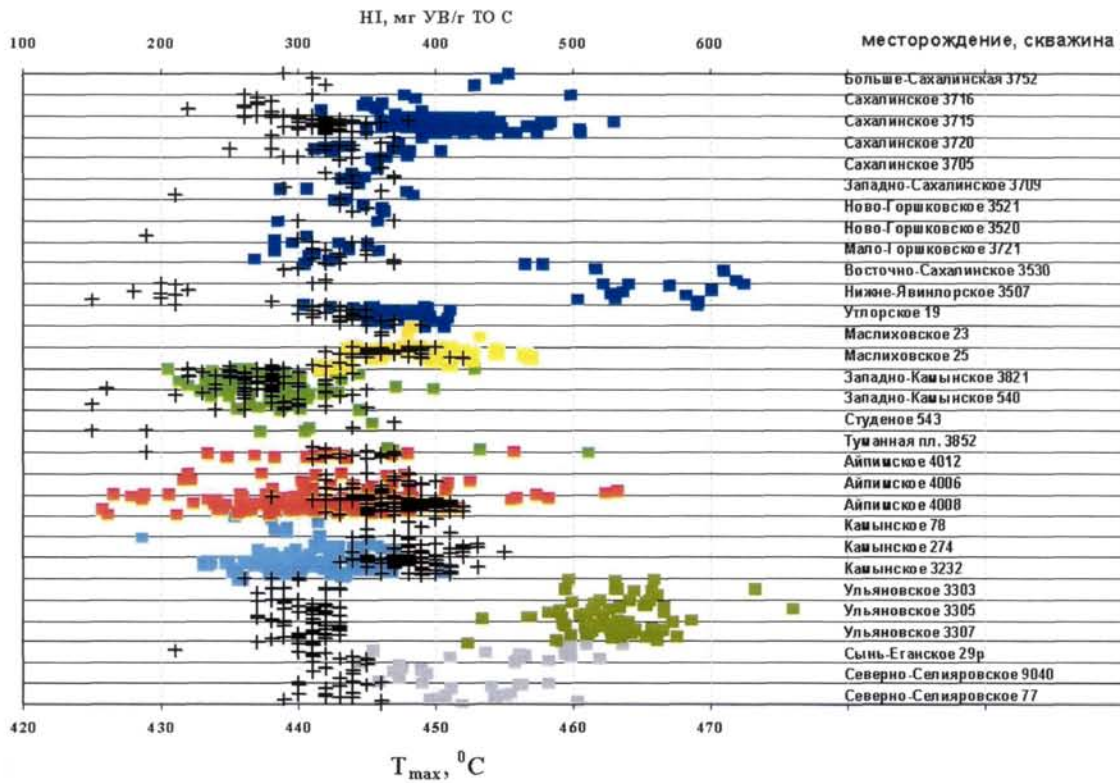
На примере разреза скв.4021 Ай-Пимского месторождения проведен анализ катагенетической зрелости керогена с глубиной (табл.3.1). В качестве индикатора процесса использовалась температура (T) завершения окислительной термодеструкции органики в неэкстрагированном образце термогравиметрическим методом. Интервал изменения температуры от 465 до $>1000^\circ\text{C}$ характеризует широкий диапазон углификации: от стадии низкопламенного угля до графита. При этом их чередование с глубиной не подчиняется ни литологическим, ни геостатическим закономерностям.

Таблица 3 1

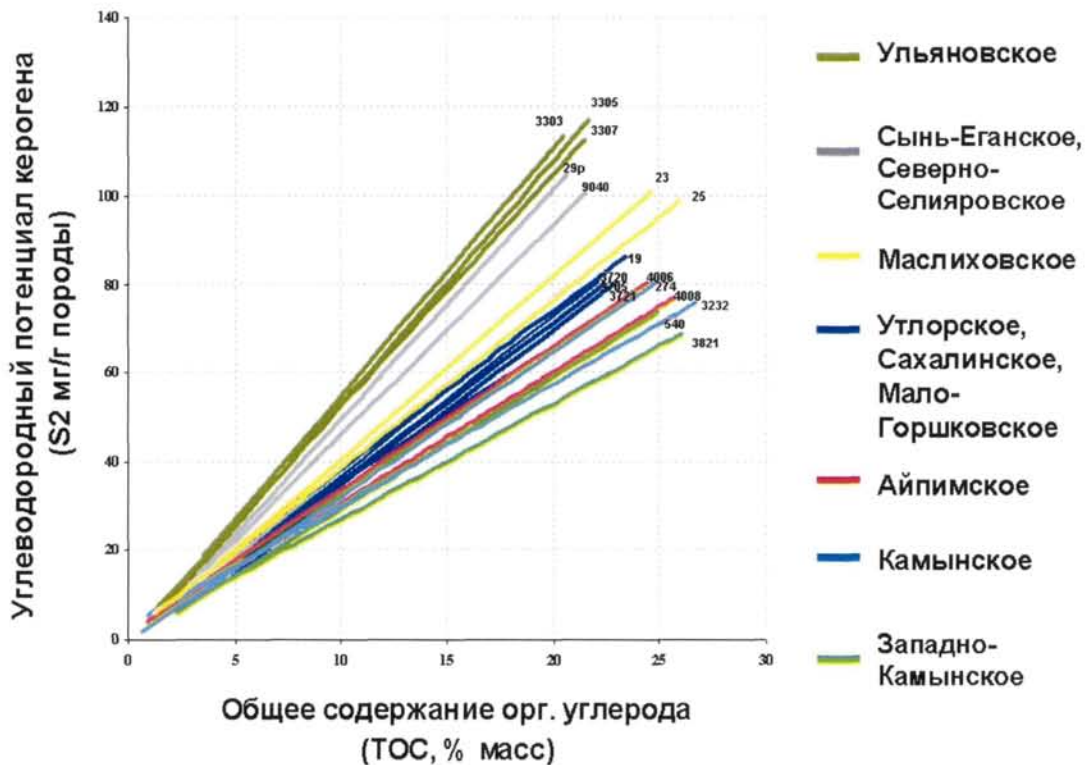
Результаты физико-химических исследований карбонатов и керогена а также емкости (пористости) битуминозных пород баженовской свиты по скважине 4021 Айпимского месторождения.

№ п/п	Интервал отбора м		Место отбора от кровли интервала, м	Содержание минералов, %			Температурный интервал (Т) окислительного процесса град С		Удельная энтальпия пиролитического процесса (dH _{пир}), кДж/г	Удельная энтальпия процесса окисления (dH _{окисл}), кДж/г	Теплофизический коэффициент керогена (dH _{кпир} + dH _{окисл}), кДж/г	Объемная плотность, г/см ³	K _п керосинонасыщением, %	K _п плотностным методом %
	кровля	подошва		кальцит	доломит	пирит	начало	конец						
1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	2835	2839.4	0.1	26		15.4	135	>1000	3.93	*но	но	2.22	1.3	7.14
2	2835	2839.4	0.35	83.3		5.3	215	530	2.02	2.03	4.05			
3	2835	2839.4	0.9	84.8		3.3	270	495	2.34	1.30	3.64	2.57	0.44	4.51
4	2835	2839.4	1.08	21		20.5	130	>1000	4.32	но	но			
5	2835	2839.4	1.35	13.6		25.2	190	960	4.08	11.13	15.21	2.37	0.74	11.81
7	2835	2839.4	2.15	22.2		15.8	160	>1000	2.83	но	но	2.44	0.86	6.25
8	2835	2839.4	2.7	87.1		1.6	180	490	2.81	0.88	3.69	2.53	0.48	6.72
9	2835	2839.4	2.9	следы		7.7	230	990	4.37	9.62	13.98	2.08	1.5	8.84
10	2835	2839.4	3.3	34.1		9.6	230	685	4.16	5.27	9.43	2.38	0.5	5.58
11	2835	2839.4	3.55			9.2	175	875	5.04	7.36	12.40	2.34	0.92	8.36
12	2835	2839.4	3.85			8.8	180	925	3.65	11.35	15.00	2.01	1	7.96
13	2835	2839.4	4.15		68.8	1.9	200	610	1.44	2.02	3.46	2.66	0.54	4.32
14	2839.4	2843	0.1			7.7	160	885	4.17	8.07	12.24	2.16	2	6.59
15	2839.4	2843	0.5			8.0	130	>1000	4.25	но	но	2.08	3.1	10.82
16	2839.4	2843	0.7			7.8	125	>1000	3.99	но	но	2.05	5.1	10.13
17	2839.4	2843	1			7.7	130	900	4.05	8.57	12.63	2.12	4.9	8.66
18	2839.4	2843	1.4			7.8	160	895	4.26	7.87	12.14	2.18	3	7.29
19	2839.4	2843	1.65			6.3	120	>1000	3.71	но	но	2.15	4.2	9.05
20	2839.4	2843	2.25			12.2	120	>1000	4.31	но	но	2.55	1.3	4.18
21	2843	2846.7	0.1			4.5	130	960	4.63	3.89	8.52		1.3	
22	2843	2846.7	0.39			3.9	145	940	3.87	4.80	8.66	2.23	0.65	9.55
23	2843	2846.7	1			4.7	120	925	4.31	4.99	9.30	2.22	0.69	8.44
24	2843	2846.7	1.1			4.0	110	>1000	4.74	но	но	2.23	0.51	8.01
25	2843	2846.7	1.5	2.6		3.9	130	920	3.34	4.95	8.29	2.27	0.47	6.27
26	2843	2846.7	2			5.2	115	>1000	3.38	но	но	2.21	0.66	8.85
27	2843	2846.7	2.25			7.6	115	>1000	3.72	но	но	2.27	0.91	10.16
28	2843	2846.7	2.55			4.8	135	>1000	3.11	но	но	2.2	1.8	7.28
29	2843	2846.7	2.9			4.9	160	905	3.27	5.13	8.40	2.17	0.53	6.55
30	2843	2846.7	3.15			2.1	45.5	735	1.74	1.96	3.70	2.37	1.7	6.81
31	2847.5	2853	0.15			3.1	135	905	4.09	3.56	7.65	2.24	2.1	7.18
32	2847.5	2853	0.55			2.9	185	930	3.38	4.50	7.88			
33	2847.5	2853	0.8			4.0	85	>1000	3.82	но	но	2.24	0.54	8.35
34	2847.5	2853	1.15			4.8	115	>1000	2.66	но	но	2.21	0.76	6.87
35	2847.5	2853	1.45			3.4	175	935	3.62	4.65	8.27	2.3	0.46	3.79
36	2847.5	2853	1.75		77.3	1.2	245	555	1.46	0.95	2.40	2.69	0.56	3.61
37	2853	2853.7	0.2	7.1		2.5	110	>1000	4.35	но	но	2.26	0.63	0.88
38	2853.7	2857.7	0.1			2.4	185	810	2.55	3.11	5.66	2.32	3.2	9.92
39	2857.7	2863	0.4	9.2		2.2	135	605	2.37	0.73	3.11			
40	2857.7	2863				2.7	185	795	3.05	1.50	4.55			
41	2857.7	2863		4		1.9	205	685	2.13	1.37	3.50			

Примечание *но - не подлежит определению



а) катагенетическая зрелость керогена (условные обозначения: «■» - водородный индекс HI, «+» - температура максимального выхода углеводородов в процессе пиролиза T_{max})



б) сравнительный анализ параметров керогена (условные обозначения: «3303» - номер скважины)

Рис. 3.4 Анализ катагенетической зрелости керогена битуминозных пород баженовской свиты по месторождениям и скважинам на территории работ методом окислительно-пиролитической деструкции (Rock - Eval)

3.3 Методика лабораторной оценки общей пустотности (емкости) и нефтенасыщенности битуминозных пород

Исходя из изложенных выше представлений, был предложен плотностной метод определения пористости и нефтенасыщенности битуминозных аргиллитов. При его разработке соблюдались следующие требования:

- выбор параметра для измерения, который объективно обуславливает и известным законом связан с искомой величиной;
- подбор модели измерения, которая бы в наименьшей степени зависела от исходного состояния керна (целый керн, щебенка, шлам);
- измерение выбранного параметра должно быть воспроизводимым;
- все вспомогательные технологические операции должны иметь природный аналог или соответствовать общепринятым способам обработки для лабораторных исследований керна и флюидов.

Как известно, коэффициент пористости K_n (прим. - здесь и далее все параметры рассчитываются в долях единицы) через плотности компонентов системы «порода-флюид» рассчитывается по уравнению

$$K_n = [(\rho_{об} - \rho_{мин}) / (\rho_{фл} - \rho_{мин})] \quad (1)$$

где $\rho_{об}$ – объемная плотность образца, г/см³;

$\rho_{фл}$ – плотность насыщающего флюида, г/см³;

$\rho_{мин}$ – минералогическая плотность образца, г/см³.

В случае поднятого на поверхность керна весьма существенный вклад в пористость вносит образовавшаяся в результате разгазирования и испарения легколетучих компонентов система пустых микротрещин, микрокаверн и пор. Для ее расчета примем $\rho_{фл} = 0$ (для воздуха). Тогда формула (1) примет вид :

$$K_{п1} = 1 - \rho_{об} / \rho_{мин1} \quad (2)$$

где $K_{п1}$ – коэффициент пористости неэкстрагированного образца;

$\rho_{мин1}$ – минералогическая плотность неэкстрагированного образца.

В результате экстракции нефтяной компоненты получаем некоторое приращение величины пористости. Обозначим его $K_{п2}$. На этом этапе рассчитать общую пористость затруднительно, поскольку уравнение (2) предполагает только один ее вид (незаполненное пустотное пространство микротрещин, капилляров и микрокаверн в керне, вынесенном на поверхность), а в нашем случае их, как минимум, два (пустые и нефтенасыщенные формы пустотного пространства), то есть

$$K_{п\text{об}} = K_{п1} + K_{п2} \quad (3)$$

Поскольку при расчете $K_{п1}$ мы приняли допущение, что экстрагируемая нефтяная компонента входит вместе с керогеном в состав скелета породы, воспользуемся этой логикой и далее.

Пусть $\rho_{мин1}$ ($K_{п1}$) по отношению к оценке приращения пористости для экстрагированного образца по сравнению с неэкстрагированным заменит в формуле (1) коэффициент объемной плотности. Это не противоречит, на наш взгляд, реальной логике измерения: коль скоро мы оцениваем вклад некоторой пористости $K_{п2}$, обусловленной присутствием в неэкстрагированном образце некоторого количества консолидированной нефти, то минералогическая плотность образца до экстракции по отношению к этой компоненте вполне соответствует объемной плотности образца в формуле (1). Более того, таким образом, уже на начальном этапе измерения мы закладываем существование двух систем разнонасыщенных пустот.

$$\text{Тогда } K_{п2} = 1 - \rho_{мин1}/\rho_{ми} \quad (4)$$

где $\rho_{мин2}$ – минералогическая плотность образца после экстракции, г/см³;

Примем $\rho_{фл} = 864 \text{ кг/м}^3$ (средняя плотность нефти для пласта ЮС^о).

Продолжая приведенную выше логику рассуждений, возможно попытаться оценить начальную нефтенасыщенность битуминозной породы.

Ключевой посылкой к определению нефтенасыщенности битуминозной породы является выражение физического объема насыщенного керна, который через параметры массы и плотности компонентов описывается уравнением:

$$V_{\text{обр.}} = V_{\text{п.п.}} + V_{\text{фл.}} + V_{\text{ск}} \quad (5)$$

где $V_{\text{обр.}}$ – объем образца породы;

$V_{\text{п.п.}}$ – объем пустого, не заполненного нефтью порового пространства;

$V_{\text{фл.}}$ – объем флюида (нефти);

$V_{\text{ск}}$ – объем минерального скелета породы, включая кероген.

Тогда

$$(m_{\text{обр.}} / \rho_{\text{об.}}) = K_{\text{п1}}(m_{\text{обр.}} / \rho_{\text{об.}}) + (m_{\text{фл.}} / \rho_{\text{фл.}}) + (m_{\text{мин2}} / \rho_{\text{мин2}}), \quad (6)$$

используя соотношения

$$m_{\text{ск}} = m_{\text{обр.}} - m_{\text{фл}}$$

$$m_{\text{фл}} = C_{\text{фл масс}} * m_{\text{обр}}$$

$$C_{\text{фл\%об}} = C_{\text{фл масс}} * \rho_{\text{об}} / \rho_{\text{фл}}$$

$$K_{\text{нн}} = C_{\text{фл об}} / K_{\text{п}}$$

$$K_{\text{п}} = (\rho_{\text{об}} - \rho_{\text{мин1}}) / (\rho_{\text{фл}} - \rho_{\text{мин1}}),$$

где $C_{\text{фл об}}$ – содержание нефти в объемных долях единицы;

$C_{\text{фл масс}}$ – то же в массовых долях единицы;

$K_{\text{нн}}$ – коэффициент нефтенасыщенности;

$\rho_{\text{об}}$ – плотность образца породы объемная ,

получим

$$K_{\text{нн}} = \rho_{\text{об}} * (\rho_{\text{мин2}} - \rho_{\text{мин1}}) * \rho_{\text{мин2}} / (\rho_{\text{мин1}} - \rho_{\text{фл}}) / \{ \rho_{\text{мин2}}(\rho_{\text{мин1}} - \rho_{\text{об}}) + \rho_{\text{мин1}}(\rho_{\text{мин2}} - \rho_{\text{мин1}}) \} \quad (7)$$

Необходимо заметить, что для сравнения были проанализированы и другие модели последовательного расчета $K_{\text{нн}}$ с учетом и без учета плотностей экстракта и флюидов. И только модель, последовательно воспроизводящая процессы, сопровождающие вынос на поверхность изучаемого образца керна оказалась удовлетворительной. Проблемы для распространения лабораторного метода на весь разрез бажендовской свиты, включая зону продуктивности с несохранным керном, который может быть поднят на поверхность только в виде шлама или (при применении изолирующей технологии отбора) щебенки, очевидны. Однако, достигнутое понимание природы коллекторов в ней показывает, что сочетание лабораторных возможностей с возможностями промыслово-геофизических исследований (ГИС) позволит выйти на приемлемую для всех зон

продуктивного разреза методику корректного измерения параметров пористости и нефтенасыщенности.

Для лабораторных измерений камнем преткновения является определение объемной плотности породы. Очевидно, что при изменчивости битуминозных аргиллитов при выносе на поверхность, они не могут (при всей своей формальной точности) гарантировать соответствие этого параметра пластовым условиям, а алгоритмы пересчета поверхностных данных в пластовые отсутствуют и по большому счету никогда не смогут быть определены. Для зон коллекторов, из которых сохраненный керн не выносится, вообще не существует возможности оценки объемной плотности породы в целом, но лишь отдельных ее фрагментов, что вовсе лишено какого-либо смысла.

Для промыслово-геофизической методики, разработанной В.В.Хабаровым и применяющейся уже много лет, по новым полученным данным вскрылись свои проблемы. Это, прежде всего, допущение о неизменности состава керогена и глинистых минералов во всем разрезе бажендовской свиты. Из данных, полученных при термогравиметрических исследованиях (см. раздел 3.2.), следует, что катагенетическая преобразованность керогена изменяется по всему разрезу, не подчиняясь каким-либо известным закономерностям (таблица 3.1). Отсюда водородный индекс керогена будет разным. И если изменениями в составе комплекса глинистых минералов возможно пренебречь, то никак не связанная с количественным присутствием катагенетическая изменчивость органики неизбежно увеличит несистематическую ошибку определения водородосодержания, а через нее нефтенасыщенности.

В этой связи сочетание возможностей обеих технологий, по нашему мнению, позволит избежать индивидуальных проблем каждой из них. Отказ от зависящих от химического и минерального состава нейтронных и электрометрических методов и переориентация на плотностные и акустические методы ГИС позволит выйти из того методического тупика, в котором на сегодняшний день прибывают и геофизики и лабораторные специалисты.

Очевидно, что задача приближения точности измеряемых методами ПГИС параметров объемной плотности к лабораторным представляется достаточно сложной, но не является самоцелью, поскольку при достижении систематического соотношения геофизического и лабораторного измерений для керн из плотных участков разреза скважины возможно их нормирование для зон коллекторов, адекватно керном не представленных (щебенка, шлам).

В этом случае уравнения для расчета пористости и нефтенасыщенности битуминозных пород в баженовской свите примут вид:

$$K_p = (\rho_{\text{ГИС}} - \rho_{\text{мин2}}) / (\rho_{\text{фт}} - \rho_{\text{мин2}}) \quad (8)$$

$$K_{\text{нн}} = \rho_{\text{ГИС}} * (\rho_{\text{мин2}} - \rho_{\text{мин1}}) * \rho_{\text{мин2}} / (\rho_{\text{мин1}} - \rho_{\text{фт}}) / \{ \rho_{\text{мин2}} (\rho_{\text{мин1}} - \rho_{\text{ГИС}}) + \rho_{\text{мин1}} (\rho_{\text{мин2}} - \rho_{\text{мин1}}) \}$$

где лабораторный параметр $\rho_{\text{об}}$ заменен на полученный по геофизике $\rho_{\text{ГИС}}$. Как видно из уравнения (8), определение пористости при таком подходе корректно учитывает все компоненты породы и рассчитывается уже для пластовых условий.

Таким образом, при образовании промышленных залежей в битуминозных отложениях баженовской свиты катагенетическая трансформация керогена является не только механизмом углеводородобразования (протонефть), но и автохтонным механизмом формирования коллектора. Последний процесс существенно зависит также от наличия (или отсутствия) миграции флюидов в пределах толщи, т.е. существования проводящей системы трещин, образование которой наглядно демонстрирует, например, модель М.Ю.Зубкова, о чем говорилось выше

Латеральное и вертикальное распределение керогена с различной катагенетической зрелостью указывает на отсутствие как палеогеографических, так и литолого-минералогических факторов, определяющих такую дифференциацию.

Приуроченность основных промышленных притоков к пачкам Р и прослоям радиоляритов других пачек и низкое содержание первичного Сор_г в них по сравнению с глинистыми, кремнисто-глинистыми литотипами с тонкослоистой и тонкослоисто-чешуйчатой текстурами, не являющимися коллекторами, требует изучения иных механизмов, контролирующих

распределение залежей на рассматриваемой территории перспективной нефтеносности баженовской свиты.

Глава 4. Критерии поиска коллекторов в битуминозных отложениях баженовской свиты

В главе приводится сравнительный анализ продуктивности битуминозных отложений баженовской свиты западного склона Сургутского свода и восточного борта Фроловской мегавпадины по 4 месторождениям: Ай-Пимскому, Биттемскому, Западно-Камыньскому и Ульяновскому с учетом их литолого-геохимических особенностей.

Как было показано в предыдущих главах, для отложений баженовской свиты литологические критерии выделения зон коллекторов не являются определяющими. Откуда следует, что модель формирования залежей в них контролируется температурным и тектоническим режимами территории. Процессы углеводородообразования определяются механическим фактором и на первом этапе сопряжены с процессами образования первоначальной пористости.

Исходя из детального литолого-петрофизического и геохимического изучения вышеперечисленных месторождений, выбранных в качестве эталонов по признаку различной продуктивности, размера и положения в территории по отношению к дезъюктивным нарушениям, предпринимается попытка прогнозной оценки территории в целом на основе предложенной механохимической модели с учетом тектонического и температурного факторов.

4.1. Литологическая, геохимическая характеристики и емкостные параметры битуминозных пород баженовской свиты по месторождениям.

В главе приводятся и анализируются результаты лабораторного исследования керн Ай-Пимского, Биттемского, Западно-Камыньского и Ульяновского месторождений (всего 12 скважин). В сравнительном анализе для иллюстрации закономерностей по всей территории рассматривается

скважина 11 Сахалинской разведочной площади, характеризующая по керну на сегодняшний день ее крайний юго-запад.

Выше упоминалось (введение), что одной из важнейших проблем при изучении керна баженовской свиты является его привязка к геофизическому разрезу в связи с низким выносом и неоднозначностью отбивки кровли баженовской свиты по каротажу (глава 2).

На рис.4.1 приведены кернограммы трех скважин, из которых керн был вынесен по обычной технологии, на рис.4.2 - по изолирующей. Технология изолирующего отбора керна, применяющаяся в ОАО «Сургутнефтегаз», разработана в Тюменском НИИБурМаш и в последние годы широко используется в России для различных типов продуктивных отложений.

За основу при определении границ кровли свиты и отдельных слагающих ее пачек принята методика, предложенная В.В.Хабаровым, а сама привязка осуществляется на основании лабораторного изучения колонки керна полного диаметра профильными методами (фотографирование в белом и ультрафиолетовом свете, профиль естественной радиоактивности и плотности гамма-просвечиванием, изучения продольной и поперечной скоростей распространения акустической скорости) и детального литолого-геохимического исследования на отдельных образцах. Это позволяет снять проблемы расчленения свиты по ГИС, о которых говорилось ранее.

При построении литологической колонки используются фотографии в белом и ультрафиолетовом свете, а также результаты петрографического изучения пород в шлифах. Она содержит два элемента (структурный и текстурный), поскольку для классификации литотипов и выделения коллекторов используются текстурные признаки пород. Сравнение различных по характеру выноса керна разрезов скважин (рис.4.1), по нашему мнению, показывает, что поинтервальное смещение керна в процессе увязки не зависит от его выноса, но в большей степени от первоначальной отбивки кровли баженовской свиты как при первичной интерпретации геофизических данных по участку, так и при последующем проведении геофизического контроля (ГТИ) в процессе бурения (рис.4.1 и 4.2, колонки «до увязки» и «после увязки»).

Из зон коллекторов трещинного и кавернозно-трещинного типа по обычной технологии отбора не выносятся, а по изолирующей выносятся в

виде щебенки. Этот факт может считаться косвенным признаком для выделения коллекторов в баженовской свите. Участки выноса несохранного керна выделены в керновой колонке и привязаны к каротажным диаграммам ГИС для скважины 30 Северо-Биттемской площади Биттемского месторождения (рис.4.2), в которой керн отбирался по изолирующей технологии, – белое поле. По аналогии для скважин с отбором керна по обычной технологии (рис.4.1) предполагается, что пропущенные в керновой колонке интервалы вероятно также представлены трещинными и трещинно-кавернозными коллекторами.

4.1.1. Литологическая, геохимическая характеристики и емкостные параметры битуминозных пород баженовской свиты Ай-Пимского месторождения.

Баженовская свита на одноименном лицензионном участке представляет собой наиболее перспективную нефтеносную территорию. Разрез битуминозных отложений вскрыт более, чем 40 скважинами, около 30 дали нефть. Разброс дебитов при испытании интервалов битуминозных пород различен и составляет от 0 до 300-400 м³/сутки, в скважинах 3 и 4034 зафиксированы начальные дебиты около 700 м³/сутки.

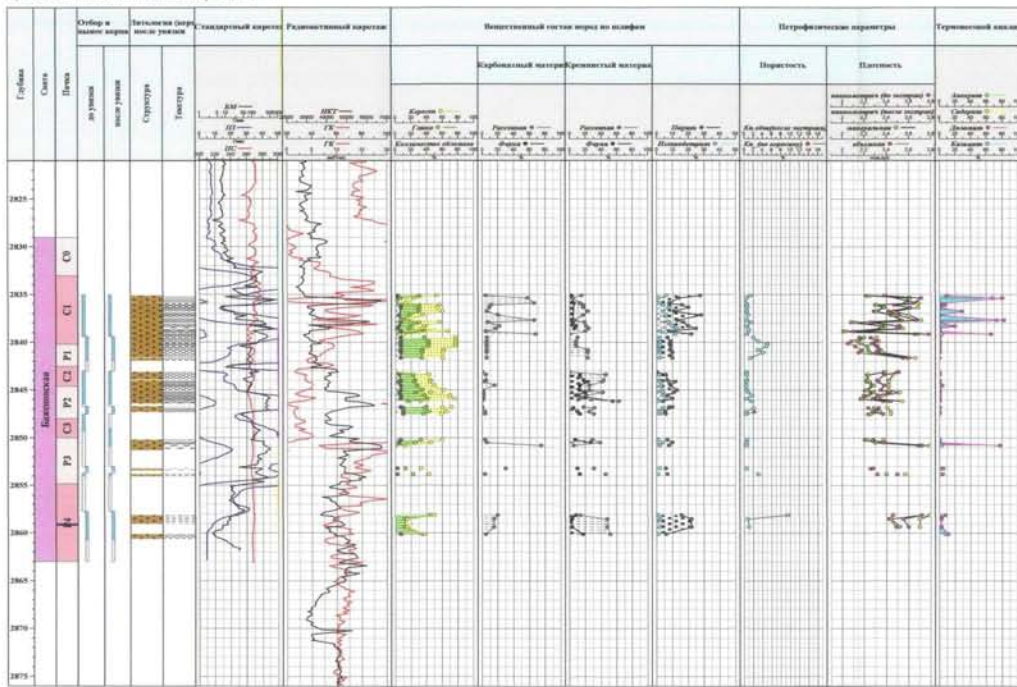
Известно, что вынос керна из битуминозных интервалов разреза тем выше, чем меньше его продуктивность. Поэтому разработаны принципы систематизации полученных по такому керну результатов, которые на основании выработки одной или нескольких моделей формирования отложений позволяют с высокой успешностью применять полученные результаты вне зависимости от продуктивности скважины (Коровина Т.А. и др., 1999-2003).

На Ай-Пимском месторождении были проанализированы скважины 4008 (зона низкой продуктивности), 4021 (зона средней продуктивности) и 4012 (зона повышенной продуктивности) (рис.1.1).

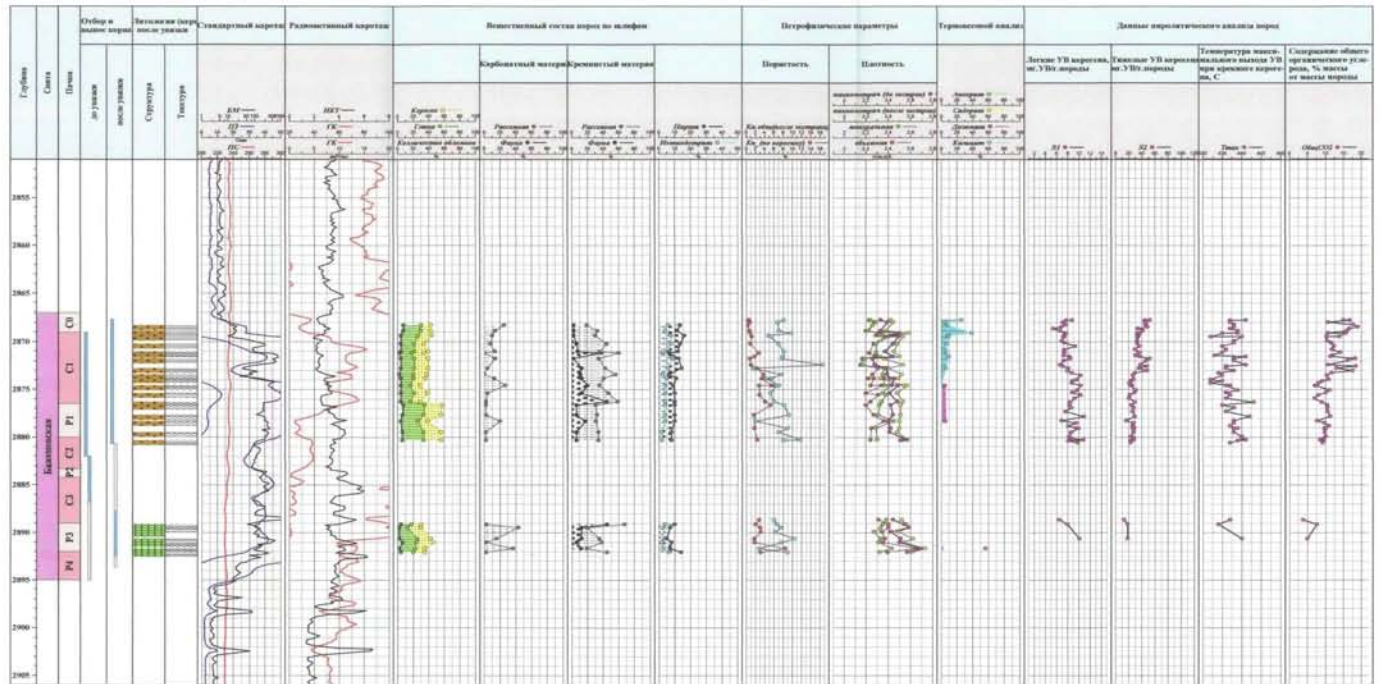
Наиболее представительный разрез изучен в скважине 4021, кернограмма которого представлена на рис.4.1.

Скважина 4021 располагается на юго-западной части месторождения и вскрыла баженовскую толщу на глубине 2830-2858 м. Скважина

а) Скважина 4021 Ай-Пимского месторождения



б) Скважина 3821 Зинцово-Камынского месторождения



в) Скважина 3305 Ульдинского месторождения

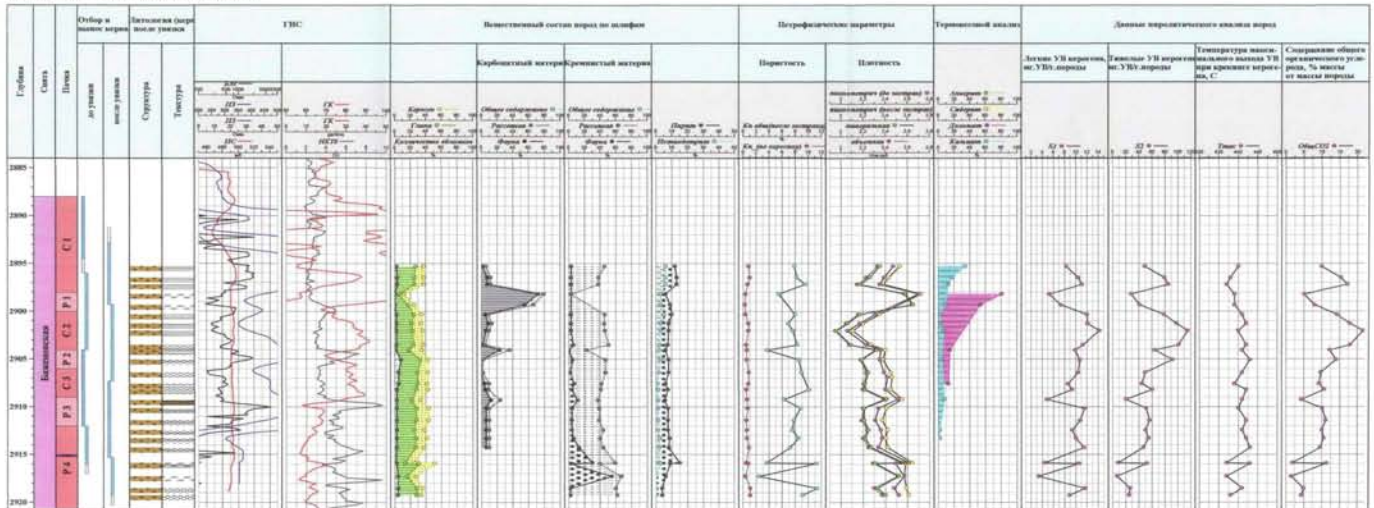


Рис. 4.1 Вещный состав, геохимические характеристики и вязностные параметры битуминозных керосинов по разрезу баженской ситты в скважинах с отбором керосина по индивидуальной технологии.

Скважина 30 Северо-Битумского месторождения

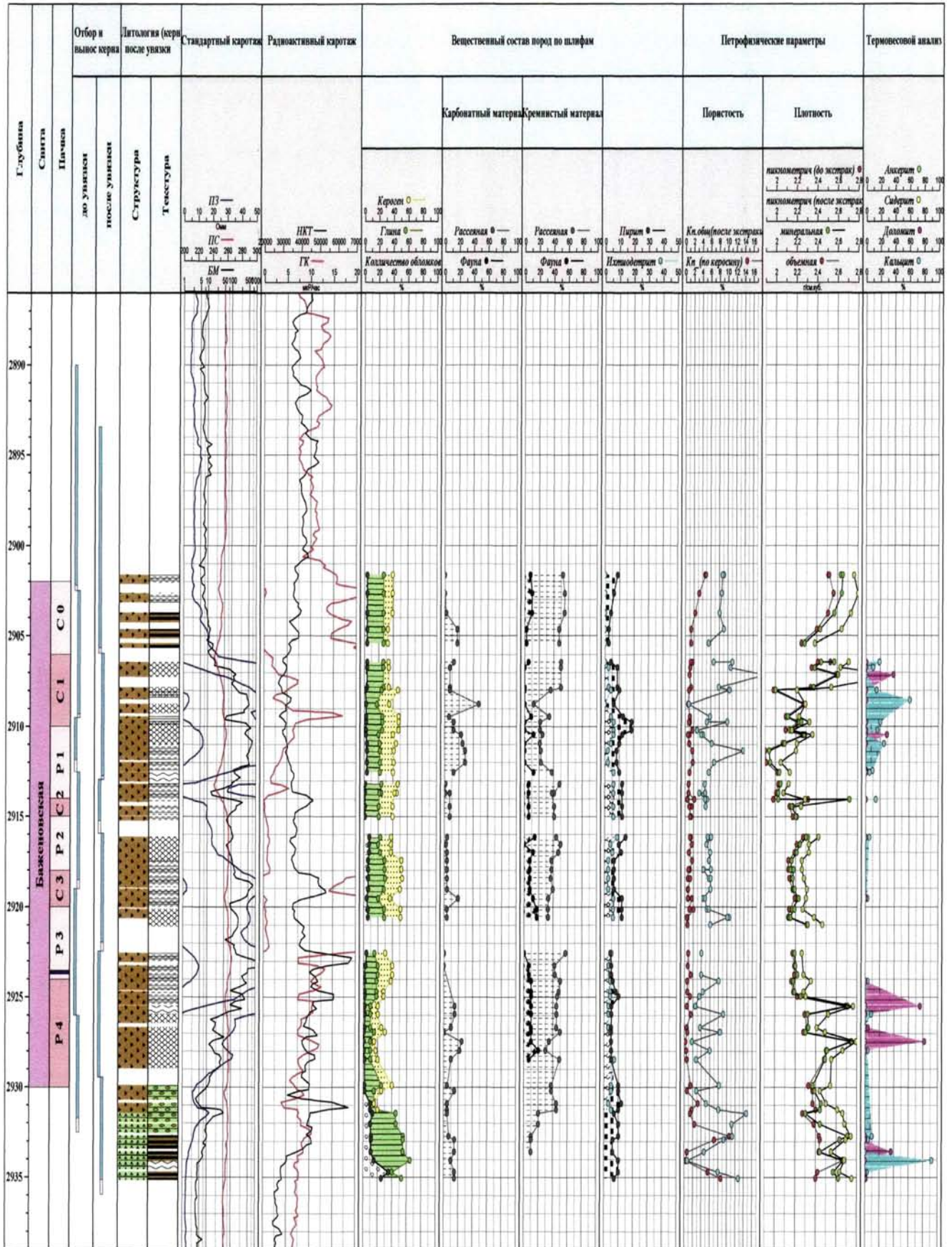


Рис. 4.2 Вещественный состав, геохимические характеристики и емкостные параметры битуминозных пород по разрезу баженовской свиты в скважине с отбором керна по изолирующей технологии.

продуктивна, при вскрытии было получено 9,8 м³/с на 1,6 мм штуцере. Из баженовских отложений отобран керн в интервале глубин 2835-2863 м. Вынос керна не стабилен: верхние интервалы долбления до глубины 2846 метров характеризуются высоким выносом керна – до 98%, чаще 69-92%; ниже керн выносился плохо - не выше 57%, отдельные долбления охарактеризованы керном на 7-8%. По керну проведен широкий комплекс лабораторных исследований, включающий определение открытой пористости по керосинонасыщению, плотностей объемной (расчет) и минералогической (пикнометрическим методом) с расчетом общей пористости. Изучение вещественного состава пород проведено с использованием рентгеноструктурного, термовесового, рентгенофлуоресцентного и ИК спектрометрического анализов. Структурно-текстурные характеристики пород и содержание основных компонентов изучались в шлифах и на сканирующем электронном микроскопе. В скважине проведен полный комплекс промыслово-геофизических исследований, которые использовались при привязке керна к глубинам и разбивке разреза на пачки.

В целом, по всему изученному керну скважины 4021 были прослежены все три цикла С-Р и пачка Р₄, представленная глауконитовыми разностями пород с многочисленными включениями пиритизированных остатков ростров белемнитов. В скважине 4021 карбонатный материал представлен только лишь остатками белемнитов частично пиритизированных, тогда как основная масса породы представлена глинисто-кремнистым минеральным комплексом с глауконитовыми и пиритовыми включениями.

Основные результаты исследования керна представлены наглядно на кернограмме (рис.4.1а) и в таблицах 4.1 и 4.2. Ниже дается описание пачек сверху вниз.

Пачка С₀ керном не охарактеризована.

Пачка С₁ вскрыта в скважине 4021 в интервале глубин 2832,6-2840,0 м. По ГИС интервал пачки характеризуется высокими значениями ГК (запись в масштабе 0-20 мкР/час). По керну породы представлены аргиллитом темно-серым до черного с бурым оттенком, тонко-горизонтальнослоистым за счет переслаивания более темного и светлого

материалов, битуминозным, глинисто- кремнистого состава, в значительной степени пиритизированным. Текстуры разные: тонко-горизонтальнослоистые, линейно-листоватые, линзовидно-слоистые.

По-видимому, в породе присутствует кроме аморфного керогена, органика гумусового (витренового?) типа, по которой активно развиваются точечные стяжения пирита. Общее содержание в породе пиритизированного органического вещества составляет до 20-25% об., хотя по совместному расчету данных рентгенофазового и рентгенофлуоресцентного анализов, элементного содержания FeS_2 в породе не более 13%. Предварительно было высказано предположение, что эти тонкие, похожие на пиритизированный уголь слойки, на самом деле являются литифицированным, обезвоженным гидротроилитом ($FS.nH_2O$). В природе гидротроилит распространен в придонных частях водоемов в виде придонного гидрогеля, существующего в восстановительной среде. Возникает в осадках при взаимодействии гидроокислов железа со свободным сероводородом. Со временем переходит в пирит. Особенно много его в осадках Черного моря, фиордов и некоторых лагун, где затруднена циркуляция и недостаточен приток кислорода в придонные слои воды. Криптокристаллическая размерность и различная степень перехода в пирит этого вещества, возможно приводит к неоднозначному определению его различными методами. Однако, данные рентгенофлуоресцентной спектроскопии по соотношению $Fe/S = 0.5$ (рис.4.1) позволили исключить возможность присутствия начальной формы сульфида железа – гидротроилита, поскольку такое элементное соотношение в парах характерно для пирита, гидротроилит имеет $Fe/S=1$.

Основным же минеральным компонентом в породе является кварц, который в виде линзовидных скоплений тончайших кристалликов формирует в породе характерную тонкую листоватую текстуру. Содержание кремнистого вещества по данным рентгеновских видов анализа составляет 17%. В шлифах хорошо видно, что около 6% кремнистого материала представлено раковинками радиолярий (преимущественно *Willriedelum*), а остальной кремнезем хемогенного вида, скорее всего выпавший из раствора при понижении температуры и изменении pH морской воды. Вряд ли подобные текстуры могли образоваться за счет

перекристаллизации кремнистой фауны в процессе диагенеза. Скорее всего, окремнение осадка происходило на ранних этапах литификации. Нельзя исключать пепловое происхождение рассеянного кремнистого материала в породе, который затем мог перекристаллизоваться в криптокристаллический кремнезем. По визуальному определению в шлифе кремнистого материала в породе до 20-25%.

Органическое вещество, также как и кремнезем, накапливалось на дне бассейна в виде тонких горизонтальных слоев. Исходный органический материал представлен, фито- и зоопланктоном, оседающим на дно бассейна в процессе биологических циклов: смены поколений, сезонной гибели, элиминации вследствие кратковременных изменений условий среды, например, изменения солености поверхностного слоя в периоды ливневых дождей или изменения температуры в периоды смены затишья штормовыми волнениями и т.д. Ненарушенные горизонтальные текстуры осадка говорят об отсутствии донных организмов, что свидетельствует о значительной глубине моря (более 100 м) в период накопления осадков этой пачки, а также сероводородном заражении придонного слоя воды. По визуальному определению в шлифах, содержание органики в породе составляет 20-25%. По расчетным аналитическим данным, оно может достигать 40-45%. По-видимому, в породе чередуются пласты с разным содержанием органики, но, как правило, оно довольно высокое.

В среднем карбонатного материала в породе мало (не более 8%) и представлен он, как правило, мелкими карбонатизированными остатками коколитофорид и их фрагментов, неравномерно распределенными по разрезу (карбонатизированные слои и небольшие единицы сантиметров прослой).

Глубоководность отложений обуславливает предельно низкое содержание терригенного материала в породе - не более 1-3%. Он представлен мелкими обломочками кварца и полевого шпата.

Содержание глинистых минералов также невысокое. Скорее всего, оно не превышает 20-25% на породу. По данным рентгеноструктурного анализа состав глинистых минералов преимущественно гидрослюдистый (55% от глинистой составляющей), с содержанием смешаннослойных образований до 25% и набухаемостью 12%. Примесь каолинита составляет 15%, а хлорита не более 5%.

Комплексная характеристика пород Баженовской свиты в пачках по результатам исследования керны

Рядовая 1. Восточная порода		Рядовая 2. Импульсно-инверсионная характеристика		Рядовая 3. Геологическая характеристика	
Площадь	Скважина	Пачка	Пачка	Пачка	Пачка
	30	С1	С1	С1	С1
Кп по керсину, %	235	246	253	255	1494
Объемная плотность, г/см ³	192	220	222	230	241
Минеральная плотность (расчетная), г/см ³	0,75	2,28	2,30	2,41	2,46
Минеральная плотность до экстракции, г/см ³	0,62	2,25	2,27		7,19
Минеральная плотность после экстракции, г/см ³	0,62	2,25	2,27		7,19
Общая пористость после экстракции, % (расчетная)	1,14	2,32	2,35	2,35	1,62
Скважина	30	С1	С1	С1	С1
Пачка	С1	С1	С1	С1	С1
Количество обломков, % об.	1,70	2,24	2,38	2,49	2,55
Глина, % об.	0,83	2,24	2,26	2,40	2,45
Кероген, % об.	0,74	2,16	2,17	2,27	2,38
Карбонатная фауна, % об.	1,05	2,17	2,19		8,48
Рассеянный карбонат, % об.	1,10	2,24	2,38	2,49	2,55
Сумма карбонатов, % об.	0,73	2,46	2,46	2,59	6,72
Кремнистая фауна, % об.	2,92	2,25	2,33	2,40	2,48
Рассеянный кремнезем, % об.	0,89	2,32	2,33		12,38
Общее содержание кремнистого материала	1,27	2,11	2,13	2,41	12,38
Ихтиодетрит, % об.	1,37	2,28	2,31	2,44	7,67
Пирит, % об.	1,97	2,28	2,31	2,44	7,67
Пирит по данным химического анализа, % масс.	2,25	2,30	2,33	2,48	2,53
Кальцит, % масс.	0,90	2,24	2,26	2,30	2,30
Доломит, % масс.	0,20	2,12	2,20	2,30	7,85
Скважина	30	С2	С2	С2	С2
Пачка	С2	С2	С2	С2	С2
MgO, % масс.	0,80	1,10	1,23	1,28	2,28
Al ₂ O ₃ , % масс.	0,99	2,16	2,18	2,18	2,33
SiO ₂ , % масс.	0,99	2,16	2,18	2,18	2,33
SO ₃ (S ⁺), % масс.	0,00	0,20	0,20	0,20	0,20
CaO, % масс.	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Fe ₂ O ₃ (Fe [*]), % масс.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃ /SiO ₂ * 10 ³	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K/U	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Содержание тяжелых УВ (S ₂), мг УВ/г породы	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tmax, °C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Сорг, % масс.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Таблица 4 2

Усредненные литолого-геохимические характеристики, емкостные и плотностные параметры пород баженовской свиты (пласт Юс₀) по скважинам

Площадь	Скважина	Кп керосинонасыщением, % об.	Объемная плотность, г/см ³	Минералогическая плотность, г/см ³	Минералогическая плотность до экстракции, г/см ³	Минералогическая плотность после экстракции, г/см ³	Общая пористость после экстракции, г/см ³	Глина, % об.	Кероген, % об.	Сумма карбонатов, % об.	Общее содержание кремнистого материала, % об.	Пирит, % об	Содержание тяжелых УВ (S ₂), мгУВ/г породы	T _{max} , °C	C _{орг} , % масс.
Камыньское	3821	2.43	2.29	2.32	2.44	2.51	7.19	24.83	18.42	14.63	45.47	10.69	30.61	438.00	10.46
Камыньское	540	1.00	2.37	2.39				19.73	16.54	20.57	46.23	7.77	25.38	438.00	8.59
Сахалинское	11	1.66	2.27	2.31				22.42	16.04	12.88	47.85	14.04	27.04	442.00	7.93
Биттёмское	30	1.05	2.24	2.27		2.39	6.06	18.91	15.48	20.18	45.84	8.97			
Ульяновское	3303	1.52	2.35	2.39	2.51	2.58	8.62	24.10	9.90	10.00	35.20	5.10	22.36	439.00	4.08
Ульяновское	3304	10.70	2.33	2.35	2.52	2.59	9.52	22.83	8.50	7.83	43.17	4.67	29.44	441.00	5.21
Ульяновское	3305	0.74	2.28	2.30	2.43	2.48	8.16	19.88	9.47	10.29	46.03	6.12	46.75	440.00	9.19
Ульяновское	3306	0.93	2.29	2.32	2.35	2.44	8.55	12.93	8.64	14.71	35.07	6.43	55.82	441.00	10.57
Ульяновское	3307	1.21	2.27	2.30	2.40	2.48	8.49	15.29	7.69	11.13	47.04	5.46	43.68	440.00	8.34
Ай-Пимское	4008	1.15	2.26	2.29				23.95	17.35	11.94	41.07	16.84			
Ай-Пимское	4021	1.55	2.31	2.34	2.43	2.48	1.51	26.54	23.12	18.93	30.95	12.07			

Отложения пачки формировались в сильно восстановительной обстановке. Содержание пирита превышает 20% от минеральной матрицы породы. Образование пирита связано, видимо, с диагенетическими процессами в уже литифицированной породе. Для отложений пачки характерно минимальное соотношение $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ и K/U. Отношение $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ имеет величину равную 6, т.е. близкую к практически чистому глинистому материалу, кремнезем и кварц присутствуют на уровне примеси. Доля щелочноземельных металлов Ca и Mg в минеральной матрице составляет около 15%. Порода имеет высокое содержание урана, и отношение $\text{U}_3\text{O}_8/\text{Th}$ равно 6, соотношение K/U имеет величину около 170. Это свидетельствует о высоком содержании керогена в породе. Вверх по разрезу содержание керогена, по данным радиоактивного гамма-каротажа, несколько возрастает, а содержание пирита несколько снижается.

Пористость пород низкая. Открытая пористость неэкстрагированного керна не превышает 1,5%. Общая пористость после экстракции возрастает до 7%.

Толщина пачки P_1 в скважине 4021 составляет 3,2 метра и выделяется в интервале глубин 2835,6-2838,8 м.

По макроописанию керна породы представлены аргиллитом темно-серым до черного, с буроватым оттенком, неравномерно битуминозным, плитчатым, известковистым, с субвертикальной отдельностью, обусловленной трещиноватостью. Местами отмечается тонко-рассеянная пиритизация, псевдоморфозы пирита по органическим остаткам. Встречаются многочисленные остатки фауны: отпечатки крупных и средних раковин двустворок, ихтиодетрит, образующих скопления в отдельных прослоях, отпечатки чешуек рыб, онихитов (крючки челюстного аппарата рыб?) и др.

В шлифах породы представлены кремнисто-карбонатными радиоляритами с редкими тонкими прослоями глинисто-кремнистых тонко-листоватых разностей, очень похожих по составу и структурно-текстурным особенностям на породы пачки C_1 .

В радиоляритах содержание микрофауны составляет 30-50%. Распределена в породе она прослоями толщиной в несколько миллиметров

(рис.2.4 и 2.5). Практически все раковины частично или полностью замещены карбонатным материалом. В большинстве прослоев карбонатный минерал представлен кальцитом, иногда – доломитом (69% на породу)

Несмотря на перекристаллизацию, многие радиолярии довольно хорошо определяются и представлены формами *Orbiculiforma*, *Williriedium*, *Parvicingula*, *Spongocapsula* и др. Некоторые из них частично или полностью пиритизированы. Кроме радиолярий довольно часто встречаются коколиты, также карбонатизированные.

Содержание кремнистого материала в породе зависит от степени замещения радиолярий карбонатом, и в радиоляритовых прослоях его, как правило, не больше 20%. В прослоях обедненных карбонатным материалом, кремнистого вещества значительно больше и он представлен тонкими линзовидными прерывистыми прослоечками с криптокристаллической структурой.

По данным электронномикроскопических исследований установлено, что пиритовые стяжения бывают пропитаны битумом. Это одна из причин, того, что визуальное количество пирита в породе всегда как бы больше, чем по данным химанализа. Нижняя часть пачки характеризуется доломитизацией и обогащением породы ихтиодетритом (наряду с радиоляриями). В отдельных прослоях содержание ихтиодетрита превышает 50%. К этим же прослоям приурочивается максимальная пиритизация породы. Пирит почти никогда не развивается по самим остаткам ихтиофауны, но часто выполняет полости внутри них и обволакивает их снаружи.

Ихтиодетрит представлен обломками часто причудливой формы, выполненными, скорее всего, фосфатом (фтор-апатитом). Иногда полости и наружные оболочки ихтиодетрита выполнены глауконитом или хорошо раскристаллизованным каолинитом. В этом случае каолининовая составляющая в комплексе глинистых минералов, определяемых рентгеноструктурным методом, несколько повышается – до 20%. В целом же комплекс глинистых минералов этой пачки, также как и других, довольно стабилен: преобладает гидрослюда (45-60%), смешанослойные образования составляют 20-30%, примесь каолинита - 10-15% и хлорита – 5-15%. Общее же содержание глинистого материала в породах этой пачки самое

непостоянное в разрезе, варьирует от 10% до 30%, составляя в среднем 15-20%.

Содержание обломочного материала в породах пачки P1 незначительно, 5-7%, но несколько выше, чем у пачки C1. К тому же спорадически встречается терригенный материал, представленный мелкоалевритовыми зернами кварца, полевого шпата и слюд, собранный в небольшие линзочки, размером не более 1 см. Возможно, это связано с усилением процессов денудации в этот период или с подводными течениями.

В верхней половине пачки количество кварца невысокое. Отношение $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ остается практически постоянным и находится в пределах 7,5-8, а доля SiO_2 в матрице близка к значению 40%, отмечаемому в пачке C1. В этой части пачки отмечается максимальное содержание пирита. В наиболее пиритизированных прослоях его содержание составляет до 45% на минеральную матрицу. С другой стороны для этих же прослоев характерны минимальные содержания карбонатного материала. Породы обладают невысокой пористостью. Открытая пористость неэкстрагированных образцов не превышает 1,5%, а общая пористость экстрагированного керна составляет 4,3-8,7%. Высокое содержание пирита в породе приводит к значительному снижению электрического сопротивления пород в этой части пачки. Кажущееся сопротивление по данным бокового каротажа в отдельных прослоях снижается до 6-8 Омм.

В нижней половине пачки в интервале 2837,2-2838,8 м появляются кремнистые и кремнисто-карбонатные разности пород. Доля SiO_2 в матрице возрастает до 60-75%, а отношение $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ колеблется в пределах 10-35. В этой части пачки в отдельных прослоях отмечается снижение содержания глинистых минералов. В прослоях, обогащенных кварцем и карбонатным материалом, отмечается уменьшение содержания Al_2O_3 в матрице до 2%. Содержание керогена по сравнению с глинистым материалом, тем не менее, остается высоким. Соотношения U/Th равно 8-10, достигая своего максимального значения. Отношение K/U колеблется в пределах 80-200, что близко к минимальным значениям. Однако в связи с некоторым снижением глинистого материала содержание керогена может быть ниже, чем в пачке C1.

Пачка C2 по каротажу выделяется в интервале глубин 2838.8-2843 м.

По макроописанию керна породы представлены аргиллитом темно-бурым, горизонтально трещиноватым и легко раскалываемым по напластованию, с включениями фауны (аммониты) и редкого обугленного материала (возможно остатки ихтеодетрита).

В шлифах породы представлены тонко-линзовидно-чешуйчатым, существенно кремнистым, битуминозно-глинистым, слабо пиритизированным переслаиванием. В отличие от пачки C_1 текстуры не линейно-листоватые, а слегка взмученные, волнистые, которые мы назвали чешуйчатыми (рис.2.2 и 2.3).

Взмученность осадка связана, скорее всего, с жизнедеятельностью организмов придонного обитания. В отличие от пачки C_1 , здесь встречается гораздо больше остатков радиолярий, среди которых преобладают формы *Spongocapsula*. Содержание их в породе составляет 5-7% и они рассеяны в осадке, не создают отдельных прослоев, в отличие от пачек P . Выполнены остатки микрофауны часто кальцитом и пиритом. Содержание пирита в породе составляет 5-10% (визуально в шлифе), но развит он по органическим остаткам витринитового типа, ориентированным по напластованию. В элементной форме примесь FS_2 не превышает 3-5% на породу.

Порода исключительно сильно обогащена криптокристаллическим кремнистым материалом, распределенным в виде линзовидных прослоев. Особенно много кремнистого материала в нижней части пачки, где он может составлять больше половины всего вещественного состава.

Пропорционально уменьшается содержание керогена. Так, в кровле пачки количество керогенового вещества по визуальной оценке в шлифах составляет 35-40% от поверхности шлифа, а в подошве его уже не больше 20-25%. По насыщенности керогеном верхняя часть пачки C_2 превосходит все остальные в разрезе скважины, в том числе и пачку C_1 .

Содержание терригенного материала мелкоалевритовой размерности, кварц-полевошпатового состава не превышает 5-7%, в единичных образцах может увеличиться до 10%. Кроме того, в породе всегда имеется незначительная примесь гипса и доломита, который хорошо виден в шлифах в виде мелких редких кристалликов. В обр.14851 встречена тонкая горизонтальная трещина, выполненная доломитом и пиритом.

Рентгеноспектральный анализ пород пачки позволил дать им краткую геохимическую характеристику. В отличие от вышележащей пачки P_1 карбонатный материал в пачке C_2 присутствует в виде незначительной примеси. Его содержание не превышает 5%. Основными компонентами породы являются глинистый материал, кероген и кремнистый материал. Отмечается также довольно высокое содержание пирита. Содержание кремнистого материала вниз по разрезу увеличивается, а глинистого материала наоборот становится меньше. Отношение SiO_2/Al_2O_3 находится в диапазоне 9,5-12. Содержание органического материала, керогена, в породе максимальное для разреза бажендовской свиты в скважине 4021. Это подтверждается невысокими величинами минералогической плотности экстрагированной породы. Минералогическая плотность колеблется в интервале 2,28-2,35 г/см³, лишь в отдельных прослоях повышаясь до 2,65 г/см³. Отношение U/Th вниз по разрезу постепенно уменьшается. Это связано, по-видимому, с постепенным уменьшением содержания органического материала вниз по разрезу, поскольку содержание глинистого материала изменяется незначительно. Содержание Al_2O_3 в породе составляет 6-7%. В целом пачка C_2 обладает довольно выдержанным компонентным составом. Изменения постепенные без резкой смены состава.

Пачка P_2 по каротажу отбивается в интервале глубин 2843-2847,2 м.

По макроописанию керна породы представлены аргиллитом темно-серым до черного, с буроватым оттенком, битуминозным, плитчатым, окремненным, с включениями ихтиодетрита и пирита в виде кристаллов, прослоев и линз.

Следует отметить, что, в отличие от вышеописанных пачек, граница между пачкой C_2 и пачкой P_2 проявляется не так резко, скорее наблюдается довольно плавный переход от слонистых пород с незначительным содержанием фауны к породам несколько более карбонатным и постепенно к подошве пачки все больше обогащаемым микрофауной. Наиболее яркой отличительной особенностью пачки является, то, что, практически, вся микрофауна, представленная радиоляриями различных форм, не замещена карбонатными минералами, а перекристаллизовалась в халцедон или другие кремнистые минералы. Встречен лишь один образец, в котором часть радиолярий замещена карбонатным минералом, скорее всего доломитом, но

в пересчете на породу его содержание составляет всего 3,7% (по данным термовесового анализа). И лишь в самой подошве пачки наблюдается сильная доломитизация (74,8%) радиолярита. Напомним что и в пачке P₁ в подошве залегает доломитизированный радиолярит.

Характерно для пачки то, что даже в прослоях с незначительным содержанием кремнистой микрофауны, количество кремнистого вещества все равно остается высоким (до 50%). В породе он распределяется в виде линзовидных прослоев и округлых стяжений с криптокристаллической структурой (иногда выглядят как сильно перекристаллизованная микрофауна или пепловые частицы). Содержание керогена и глинистых минералов в них составляет по 20-25%.

В нижней половине пачки, где наблюдается обогащение кремнистой микрофауной породы, вплоть до кремнистых радиоляритов, содержание керогена составляет не менее 15-20%. Он равномерно распределяется в ней, обволакивая остатки микрофауны и заполняя все пустоты между ними.

В доломитизированном радиолярите, залегающем в подошве пачки, также содержится до 10-15% керогенового вещества

Терригенный мелкоалевритовый материал присутствует почти во всех образцах, но не более 5-7%. По всему разрезу пачки встречаются мелкие кристаллики доломита, иногда замещенные пиритом.

Начиная с глубины 2846,7 метров вынос керна резко уменьшился (до 7-36%), несмотря на то, что интервалы долбления были сокращены до предела (0,5-6 м). Остается только предположить, что в интервале глубин 2846-2858 метров, возможно обнаружение зоны дробления пород. Керн, поднятый из этой зоны, разбит на куски, в нем наблюдаются субвертикальные трещины.

По результатам рентгеноспектрального анализа породы пачки существенно кремнистые. Содержание кремнистого материала максимальное для всего разреза бажендовской свиты в скв.4021. В отдельных прослоях порода переходит в радиолярит. Соотношение SiO₂/Al₂O₃ колеблется в пределах от 10 до 20, а в прослоях радиолярита превышает величину 20. Содержание керогена достаточно высокое. Отмечается резкое снижение его содержания в прослоях радиолярита. Пирита меньше по сравнению с пачкой C₂, хотя он отмечается по всей пачке. В целом пачка не выдержана по

составу, отмечаются ряд тонких прослоев со значительными различиями по составу, особенно в содержании кремнистого материала. Пирита меньше, чем в пачке C_1 . Вниз по разрезу, особенно в нижних 2 м пачки отмечается снижение содержания пирита. Формирование пачки проходило в сильно восстановительной обстановке.

Пористость пород пачки невысокая. Открытая пористость неэкстрагированных пород не превышает 2%, общая пористость колеблется от 6 до 10%. По результатам дебитометрии основной приток нефти получен из интервала 2845-2848 м. Высокая вертикальная неоднородность пород пачки, наряду с повышенным содержанием кремнистого материала, приводящим к «жесткости» пород пачки, приводит к образованию в данном интервале системы трещин. По результатам определения прочностных характеристик пород в скважине 4021, в этом интервале отмечается минимальные значения коэффициента Пуассона. В то же время скорости распространения поперечных волн во взаимно перпендикулярных плоскостях в этом интервале практически совпадают. Это косвенно свидетельствует об отсутствии тонкой слоистости пород. Тонкая листоватая текстура пород препятствует образованию макротрещин. В тонкослоистых разностях разгрузка происходит с формированием системы микротрещин, которая не обеспечивает достаточную проводимость пласта.

Третий циклит C_3P_3 и переходная пачка P_4 охарактеризованы керном слабо. Низкий вынос керна не позволил точно привязать керн к разрезу. При этом пачка C_3 совсем не была охарактеризована керном. Поэтому характеристика пачек P_3 и P_4 дана с большой долей условности. По каротажу пачка C_3 отбивается в интервале глубин 2847,2-2849 м.

По каротажу пачка P_3 отбивается в интервале глубин 2849-2857,8 (?) метров.

Керном охарактеризована крайне скупо. Вынесено всего 0,55 м керна представленного аргиллитом темно-серым до черного, с буроватым оттенком, битуминозным, плитчатым, окремненным, с субвертикальной отдельностью, разбитым на куски.

Оба изученных образца представлены радиоляриями, но в одном до 50-60% микрофауны замещены кальцитом и доломитом. По данным термовесового анализа в одном образце содержание карбонатных минералов

(кальцита и доломита) соответственно равно 2,2% и 2,8%. В другом содержании доломита составляет 4,2%, хотя в шлифе карбонатного материала мало, а содержание микрофауны до 30% и вся она по составу кремнистая. Вероятно, карбонатизация разреза происходила по отдельным тонким прослоям и часть радиоляритов остались некарбонатизированными. Прослой радиоляритов переслаиваются с тонкими глинисто-кремнистыми прослоями.

Вынесенный керн составляет всего чуть больше 5% от всего разреза пачки, но судя по каротажу он может удовлетворительно характеризовать разрез пачки.

По данным рентгеноспектрального анализа пачка P₃ представлена существенно кремнистыми разностями пород с единичными прослоями известняков. Содержание керогена низкое и вниз по разрезу снижается. Содержание глинистого материала довольно сильно колеблется по разрезу. Содержание Al₂O₃ составляет от 4% до 6%, то есть изменяется почти в полтора раза. Пирита мало, его содержание не превышает 5%. Обстановка осадконакопления становится менее восстановительной. Во всех вышележащих пачках практически все железо связано в пиритной форме, соотношение Fe/S близко к 0,5. В пачке P₃ это соотношение колеблется между 0,5 и 1. Возможно это связано с изменением состава сульфидов железа и появлением его низкосернистой формы - гидротроилита. Он развивается в отдельных прослоях, характеризующихся соотношением Fe/S близким к 1.

Пачка P₄ условно отбивается по каротажу в интервале 2857,8-2861 м.

По макроописанию представлена аргиллитом серым до темно-серого с зеленоватым и буроватым оттенком, тонкослоистым, неравномерно обогащенным глауконитом и пиритом. Отмечаются участки ярко-зеленого цвета – скопления глауконита, включения ихтиодетрита, ростров белемнитов, раковин двустворок.

Основная масса породы представлена глинисто-кремнистым слабо битуминозным материалом с многочисленными вкраплениями глауконита и мелкими стяжениями рассеянного пирита

Глауконитовый материал распределен в породе не равномерно, а обогащает ее послойно. Пирит распределен более равномерно, но и он в

отдельных прослоях встречается чаще, особенно когда выполняет остатки фауны.

Вниз по разрезу количество глауконита плавно уменьшается, и внизу он встречаются лишь в виде редких мелких зернышек. Уменьшается и примесь керогенового материала до фоновых значений (не более 6-8%). Содержание кремнистого вещества высокое – до 52%, содержание глинистых минералов около 30%. Состав глинистых минералов мало меняется по разрезу и характеризуется преобладанием гидрослюдистой и смешаннослойной компоненты.

По данным рентгенофлуоресцентного анализа содержание пирита низкое (не выше 1,4%), хотя в шлифах наблюдаются довольно заметные скопления пирита, особенно при замещении пиритом остатков фауны. Возможно, это замещение не полное и визуальное определение искажает истинную картину. Возможно, также в образец для изготовления шлифа попали участки с наибольшим присутствием пиритизированных ростров белемнитов, что зависило не только содержание пирита, но и карбонатов. Степень усреднения пробы для рентгеноспектрального анализа выше, чем при изготовлении шлифа, и содержание отдельных включений, неравномерно распределенных по образцу, снижается из-за большего размера образцов для химического анализа по сравнению со шлифом (механизм усреднения).

Пачка P₄ слабо охарактеризована по керну в том числе и методом рентгеноспектрального анализа. Содержание керогена в породах пачки низкое, преобладает кремнистый материал. Отношение U/Th колеблется от 0,5 до 2,3, свидетельствуя о низком содержании керогена по отношению к глинистому материалу. Содержание глинистого материала по разрезу также как и в пачке P₃ довольно сильно колеблется, хотя и в тех же пределах, что и по всей скважине. В породах пачки появляется железо не в сульфидной форме. Отношение Fe/S составляет величину от 1 до 2. При таком соотношении все железо уже не может быть в сульфидной форме. Это приводит к изменению минералогического состава пород пачки. В шлифах в породах появляется глауконит, который формируется в слабо восстановительной морской обстановке. Вниз по разрезу его содержание увеличивается. Таким образом, происходит дальнейшее ослабление

восстановительной обстановки по сравнению с пачкой P_3 . Появление в составе породы глауконита, обладающего высокой электрической проводимостью, приводит к значительному снижению электрического сопротивления пород пачки. Кажущееся электрическое сопротивление по данным бокового каротажа составляет 20-30 Омм.

Таким образом, материалы комплексного лабораторного изучения ядерного материала убедительно подтвердили цикличность строения баженовского разреза и разделение его на пачки С и Р, соответствующих отдельным циклам. Пачки С отражают периоды развития бассейна с обедненной биологической жизнью в придонном слое, когда развивались, главным образом бактериально-планктонные формы организмов. Тогда как пачки Р формировались в периоды активного развития более сложной морской фауны, среди которых, несомненно, первое место занимали радиолярии, бухии, аммониты и другие моллюски. Такое различие в составе бентоса связано, по-видимому, с периодическим сероводородным заражением придонного слоя, достигавшего своего максимума во время формирования пачек С. Формирование пачек С проходило в восстановительной морской обстановке. Пачки Р формировались в менее восстановительной обстановке. При этом вверх по разрезу проходило в целом увеличение восстановительной обстановки. Переходная пачка P_4 формировалась в слабо восстановительной обстановке, а пачки C_1 , P_1 , C_2 , P_2 и C_3 в сильно восстановительной обстановке. Пачка P_3 занимает промежуточное положение. Выделенная пачка C_0 является переходной от отложений баженовской свиты к песчано-глинистой ачимовской толще.

Латеральные закономерности развития выделенных пачек развиваются в меридиональном направлении. Практически все пачки в той или иной мере выдерживают свои толщины в этом направлении. Исключения составляют пачки P_2 и P_3 . Пачка P_2 заметно утончается с юга на север. В скважине 4008 ее толщина составляет около 3^х метров, а в скважине 4012 увеличивается до 7 метров. Пачка P_3 изменяет свои толщины в обратном направлении от 7 метров в скважине 4012, до 10 метров в скважине 4008. В целом же толщины баженовских отложений остаются почти стабильными и колеблются в пределах 30-35 метров.

В таблице 4.1 приводится сравнительная характеристика каждой выделенной пачки по комплексу исследований в скважинах. По таблице хорошо прослеживается существенное окремнение разреза сверху вниз, особенно пачек P_2, C_3 и P_3 . Пачки C_0 и C_1 содержат небольшое количество кремнезема. Существенное увеличение его содержания начинается с пачки P_1 , достигая своего максимального значения в пачках P_2-C_3 . Доля кремния в суммарном элементном составе пород увеличивается в этих пачках до 75-85%. Пачки P_3 и P_4 также существенно кремнистые, но содержание кремнезема в них начинает уменьшаться. Значительная часть этого оксида кремния представлена кремнеземом биогенного и хемогенного генезиса. В пачках C преобладает криптокристаллических кремнезем существенно хемогенного генезиса, а в пачках P заметную роль играет кремнистый материал радиолярий.

Что касается распределения карбонатного материала в разрезе, то необходимо отметить, что по всему разрезу в пачках P встречаются прослои, обогащенные карбонатным материалом, который может быть представлен как кальцитом так и доломитом. Однако наиболее карбонатизированной является пачка P_1 . Средняя карбонатность пород этой пачки составляет в скважине 4021 - 30%, самая высокая 55% - в скважине 4012. Данная закономерность нехарактерна для скв.4008, где породы баженновской свиты за исключением пачек C_1 и P_4 практически не содержат карбонатного материала.

Происходит обогащение пиритом верхних пачек разреза, особенно, C_1 и P_1 , где его содержание достигает 11-14% (по данным рентгеноспектрального анализа). Ниже по разрезу оно снижается, но остается высоким в отдельных тонких прослоях, и в среднем составляет 4-6%. В пределах каждого циклита отмечается повышенное содержание пирита в пачке C по сравнению с пачкой P . Исключение составили пачки C_3 и P_3 в скв.4012. Но как раз в этой скважине возникли сомнения в правильности привязки керна.

Сложнее определиться с закономерностями распределения в разрезе глины и керогена. Это объясняется тем, что ни по одному из аналитических методов исследования не удастся надежно их идентифицировать и выделить из породы, а также разделить между собой. Тем не менее, наблюдается

существенная относительная глинизация и обогащение керогеном пачек С, по сравнению с пачками Р. Пачка С₀ же является существенно глинистой и с низкими и неравномерными содержаниями керогенового вещества. Наиболее керогенонасыщенными в разрезе являются пачки С₁ и С₂. По визуальной оценке в шлифах пачка С₂ содержит керогена даже несколько больше, чем пачка С₁. Вниз по разрезу уменьшается содержание глины и керогена в породе. В пачке Р₄ может снова увеличиться содержание глины, как наблюдается в скважине 4021, но керогеном бывают насыщены лишь единичные, редкие прослойки.

Анализ сопоставления степени керогенонасыщения с продуктивными интервалами разреза, показывает, что притоки нефти не зависят от степени керогенонасыщения интервала испытания. Скорее они приурочиваются к более кремнистым или карбонатным частям разреза и связаны с зонами дробления и трещиноватости пород, которые чаще наблюдаются в пачках Р. Наиболее керогенонасыщенные пачки С генерируют нефть, а пачки Р, в случае их трещиноватости, аккумулируют ее и отдают в скважину.

Ай-Пимское месторождение, находящееся в зоне высокой тектонической активности и относится, несомненно, к территории с высокой перспективностью нефтеносности битуминозных отложений. Это подтверждается сейсмическими исследованиями, материалами изучения керна, а также результатами бурения и испытания скважин (Белкин Н.М., Ибраев В.И., 2003; Комплексное изучение..., 2000 и др).

4.1.2. Литологическая, геохимическая характеристики и емкостные параметры битуминозных пород бажендовской свиты Западно-Камынского месторождения

На Западно-Камынском месторождении отложения бажендовской свиты по керну изучены в 20 скважинах, в том числе в скважинах 3821, 3856 и 3859, из которых получены притоки нефти. По керну двух скважин 540р и 3821 был выполнен анализ минералогической плотности пород пикнометрическим способом. Что позволило оценить общую пористость как неэкстрагированных, так и экстрагированных пород.

В качестве эталонного был выбран разрез скважины 3821 (рис.4.1б), наиболее полно иллюстрирующий особенности битуминозных отложений баженовской свиты на Западно-Камыньском месторождении. К тому же скважина 3821 так же, как и скважина 4021 Ай-Пимского месторождения относится к числу среднепродуктивных. Поэтому для сравнения усредненные литолого-геохимические характеристики пород по пачкам сведены в одну таблицу 4.1. В таблице 4.2 приведен состав свиты в целом.

Отложения баженовской свиты в пределах Западно-Камыньского месторождения представлены аргиллитами черными и коричневаточерными, битуминозными, массивными, прослоями плитчатыми, с большим количеством рыбных остатков, реже отмечаются фауна аммонитов и ростры белемнитов. В отдельных частях свиты по керну развиты прослои радиоляритов, частично или полностью замещенных карбонатным материалом. Возраст по остаткам аммонитов датируется как волжский-ранневаланжинский. Общая толщина свиты 25-35 м.

Свойства пород баженовской свиты контролируются содержанием следующих компонентов: глинистых минералов, кварца (силицита), карбонатов и керогена. Как правило, по данным петрографического анализа в битуминозных аргиллитах содержится: 15-20% глинистого материала; 20-30% битуминозного вещества; 30-35% кремнистого материала, представленного рассеянным и собранным в небольшие плоские линзочки кремнеземом с крипстокристаллической структурой. Глинистые минералы представлены гидрослюдой (35-60%) и каолинитом, содержание которого на порядок меньше, чем гидрослюды. В виде примеси отмечается хлорит (10-30%). Важной составной частью глинистой фракции является смешаннослойные минералы (15-40%), количество которых увеличивается от подошвы свиты к кровле. Примесь пирита и углистого или гумусового материала, к которому зачастую тяготеют точечные стяжения пирита, могут составлять до 5-7% на породу, в единичных прослоях до 10%. Отдельные участки разреза обогащены скоплениями микрофауны кремнистого состава, часто замещаются карбонатным и пиритовым материалами. При их изобилии порода превращается в прослой кремнистых и (или) карбонатизированных радиоляритов. Состав карбонатных минералов в породе разнообразен. Наиболее распространен кальцит. В отдельных прослоях органогенных

известняков (карбонатизированных радиоляритов) его содержание может достигать 70-80%. В нижней части свиты отмечается высокая карбонатизация пород, когда содержание карбонатного материала составляет до 85-90%. Эти прослои иногда обогащены сидеритом и глауконитом. Содержание сидерита может подниматься до 50% на породу и выше.

В верхней части свиты отложения представляют собой выдержанный прослой с остатками планктонных водорослей кокколитофорид. Органическое вещество, располагаясь в аргиллитах слойками, образует параллельно-слоистые, петельчатые, ориентированные и линзовидно-слоистые текстуры. По составу этот прослой представлен кремнисто-керогено-глинистыми породами.

Ниже выделяются кремнистые прослои радиоляритов. В верхней и средней части свиты они слабо замещены карбонатным материалом, в нижней части кремнистый скелет радиолярий практически полностью замещен кальцитом. Отдельно были рассмотрены слабо замещенные карбонатным материалом радиоляриты, по составу керогено-глинисто-кремнистые (рис.4.1б).

Породы с высоким содержанием карбонатного материала преимущественно развиты в подошвенной части свиты. Карбонатный материал кальцитового состава участками замещает кремнистый материал и участками представлен карбонатными конкрециями, сингенетичными отложениям. В верхней и средней части свиты прослои керогено-глинисто-карбонатного материала имеют небольшую мощность и не выдержаны по площади. Литологические и петрофизические характеристики этих пород приведены на рис.4.1б.

Отложения битуминозных аргиллитов представляют собой своеобразный коллектор, емкость которого определяется листовато-слоистыми и трещиноватыми текстурами породы. По типу коллектора отложения баженовской свиты трещинные и кавернозно-трещинные. Однако, в целом структура порового пространства имеет более сложный характер. К особенностям нефтематеринских отложений баженовского типа следует отнести формирование пустотного пространства псевдогранулярного типа в процессе катагенетического преобразования керогена и последующего перераспределения образующихся (накапливающихся) углеводородов в

слабопроницаемых породах. Такого типа пористость развивается во всех литотипах баженовских пород. Зоны ее развития представляют собой по данным сканирующей электронной микроскопии не сообщающиеся между собой линзовидные участки микротрещиноватости, образующиеся по механизму деформаций напряжения. Кроме того, пористость связана с микрокавернами, возникающими в результате вторичного минералообразования, и с пустотами со сложной морфологией, возникающими в результате минерального замещения преимущественно органических остатков (пиритизация микроорганизмов) и перекристаллизации минерального биогенного материала (криптокристаллический кварц по радиоляритам, вторичная доломитизация по кальциту). Но образование пустотного пространства в результате вторичного минералообразования имеет подчиненный характер.

Открытая пористость неэкстрагированных пород по керну изменяется от 0.2 до 13.2% и в среднем составляет 2.6%. В тоже время общая пористость пород изменяется от 0.4 до 12.7% и в среднем составляет 5.7%. При этом около 25% образцов имеют общую пористость более 7.5% (в среднем 8.9%). Такое распределение общей пористости пород подтверждает обоснованность отнесения 25% общей толщины свиты к коллекторам. Пределы изменения пористости по основным типам пород приведены в табл.4.1.

Фильтрационные характеристики баженовских пород низкие. Проницаемость матрицы породы, как правило, не превышает $0.01 \cdot 10^{-3}$ мкм². Получение промышленных притоков связано, по-видимому, с формированием сети трещин. Как показывает анализ интервалов притоков из баженовской свиты на сургутском своде, наиболее протяженная сеть трещин может формироваться в глинисто-карбонатных разностях. Менее протяженные сети трещин формируются в глинисто-кремнистых и кремнисто-глинистых прослоях.

4.1.3. Литологическая, геохимическая характеристики и емкостные параметры битуминозных пород баженовской свиты Ульяновского месторождения

На Ульяновском месторождении детально проанализированы породы баженовской свиты из скважин 3303, 3304, 3305, 3306 и 3307. Толщины битуминозных отложений в пределах площади изменяются от 24 до 33 метров, закономерно увеличиваясь к центральной оси площади. В скважинах 3305 и 3307 керн отобран из всего разреза свиты с выносом, близким к 100%. Поэтому кернограмма по скважине 3305 (рис.4.3) приводится в качестве эталонной. В трех других скважинах керн отобран эпизодически и с небольшим выносом, часто менее 50%. Весь керн был детально описан и проанализирован, в том числе и геохимическими методами. Изучение пустотности (емкости) проводилось как традиционным методом определения открытой пористости керосинонасыщением, так и пикнометрическим методом определения общей емкости пород. При этом общая пористость определялась как до экстракции образцов, так и после нее. Пикнометрическое взвешивание проводилось в керосине в соответствии с методикой описанной в главе 3.

Аналогично другим месторождениям Ульяновский разрез баженовских отложений также характеризуется цикличностью строения (Хабаров В.В. и др.), которое выражается в чередовании тонкослоистых толщ, насыщенных керогеном (пачки С) с менее битуминозными прослоями, обогащенными радиоляритовым фаунистическим материалом (пачки Р). Всего отмечается четыре цикла, каждый из которых (кроме самого нижнего) начинается пачкой Р и заканчивается пачкой С. Нижняя пачка (Р₄), с которой начинается разрез баженовских отложений, как правило, характеризуется наибольшей толщиной (5-12м), наибольшей насыщенностью карбонатно-кремнистым материалом и меньшей битуминозностью. Это промежуточные отложения между осадками георгиевской свиты, которую нередко принимают за базальный горизонт келовейской трансгрессии, и собственно трансгрессивными баженовскими отложениями. Верхние три цикла характеризуются закономерным увеличением глинистой и керогеновой составляющих пород, что хорошо отражается на кривых радиоактивного каротажа. При этом пачки С более глинистые, более керогенонасыщенные и, соответственно характеризуются большей радиоактивностью, чем пачки Р.

По кривым ГК и НКТ с активным использованием кернового материала в разрезах всех пяти скважин выделены пачки С и Р. Их

характеристика приводится в таблицах 4.1 и 4.2. Состав породных комплексов пачек по литотипам приведен в таблице 2.2.

В таблице 4.1 приводятся основные керновые параметры осредненные для каждой пачки: вещественный состав пород по шлифам с полуколичественной характеристикой степени глинизации, окремнения, карбонатности, пиритизации пород, а также их керогенонасыщенности; петрофизические параметры, из которых наиболее существенными представляются значения общей пористости пород, определенные пикнометрическим методом на образцах, предварительно проэкстрагированных в спирто-бензоле; данные термовесового анализа, показывающие состав карбонатных минералов; данные пиролитического анализа керогеновой составляющей пород; и данные геохимических исследований, проведенные на рентгеновском спектрометре, позволившем определить широкий спектр (78 элементов) химических элементов в оксидной и сульфидной форме в породах баженовской свиты.

Прежде, чем характеризовать каждую пачку в отдельности, обратим внимание на несколько общих закономерностей, выявленных при изучении разрезов баженовских отложений в этих скважинах.

Во-первых, как по определению в шлифах, так и по данным геохимического анализа закономерно уменьшается доля кремнистого материала от подошвы свиты к ее кровле. Увеличение кремнистости отложений к подошве свиты идет, в первую очередь, за счет остатков кремнистой фауны (скелетов радиолярий и продуктов их жизнедеятельности).

Обратной тенденцией характеризуется закономерность изменения керогенонасыщения пород. По шлифам, а особенно по данным пиролитических исследований хорошо видно, что верхняя половина разреза характеризуется максимальными значениями содержания, как легких, так и тяжелых фракций УВ. При этом доля легких УВ в общем содержании керогена закономерно увеличивается в подошвенной части свиты.

Что касается карбонатизации отложений, то таких четких закономерностей изменения ее по разрезу на Ульяновской площади не выявлено. Карбонатизация пород растет в основном при карбонатизации радиоляритовых (изначально окремненных) прослоев. Такие прослои

встречаются как в пачке P_1 (особенно в скважине 3305), так и в пачках P_3 и P_4 (скв.3307). Иногда в этих прослоях отмечается частичная доломитизация кальцита. Но, видимо, распространение процессов карбонатизации латерально довольно ограничено.

В пределах пачки P_4 выявлен прослой небольшой толщины (не более 10-12 см), обогащенный фосфатным материалом (рис.4.3). Он хорошо отслеживается по данным геохимического анализа и встречен во всех скважинах, в которых отобран керн из этой части разреза. Если удастся хорошо привязать его к кривым каротажа, то он может служить убедительным корреляционным репером. Этот репер отбивается также по максимальным значениям стронция и бария.

Далее характеристика литолого-петрографических и физико-химических характеристик пород выделенных пачек дается по осредненным данным.

Пачка C_1 (рис.4.1в) является наиболее керогенонасыщенной в разрезе. К ней же приурочивается максимум радиоактивности. По данным описания шлифов породы пачки представлены почти черной, с буроватым оттенком битуминозной глинисто-кремнистой тонколистоватой породой с редкими остатками ихтиофауны. Кремнистый материал криптокристаллической структуры рассеян в породе, иногда собран в тонкие прерывистые линзочки, ориентированные по напластованию. Содержание его в породе составляет около 44% (25-56%) по шлифам или до 52% по геохимии. В некоторых прослоях по данным геохимического анализа количество кремнезема в породе может составлять 80%. Встречаются остатки раковинок радиолярий (иногда пиритизированных), коколитофориды с тонкой карбонатной оболочкой. Глинистый материал гидрослюдистого состава зачастую с оптической ориентацией чешуек (рис.2.1). Особенно это характерно для верхней половины пачки. Возможно, эта часть относится к пачке C_0 , часто выделяемой на других площадях по снижению керогенонасыщения. Однако на Ульяновской площади уверенное выделение пачки C_0 затруднено, так как резкого снижения керогенонасыщения здесь не наблюдается. Зато эта часть разреза на Ульяновской площади выделяется заметным обогащением породы пиритом. Его содержание здесь может достигать до 6-7%. Он представлен мелкими, часто точечными стяжениями, рассеянными в породе, или

собранными в тонкие линзочки (возможно тяготеет к обугленным остаткам водорослей). Преобладающими породами является глинисто-кремнистый литотип с высоким насыщением керогеном.

Что касается емкостных характеристик пород этой пачки, то определение их достаточно трудоемки, так как образцы в процессе анализа расслаиваются. Поэтому пошли по пути определения общей пористости пород с использованием пикнометрической минеральной плотности. Общая пористость образцов после экстракции составила в среднем 8,3%, при диапазоне изменения 7-10,5%.

Содержание общего органического углерода в породе по данным пиролиза составило 11,5%. При этом доля легких фракций в керогене минимальна для разреза (15%).

Пачка P₁ отличается от пачки C₁ появлением в разрезе прослоев обогащенных раковинами радиолярий. В некоторых скважинах (скв.3305) эти прослой сильно карбонатизированы с высокой долей доломитовой составляющей (рис.4.1в). По этой причине содержание здесь кремнистого материала занижено. В бескарбонатных радиоляритовых прослоях содержание кремнистого материала составляет до 70-75%. Содержание радиоляритовых прослоев неравномерно изменяется по площади. Наиболее насыщен ими разрез пачки в скважине 3305, наименее – разрез пачки в скважине 3307. В скважине 3303 радиоляритовых прослоев много, и они отличаются низкой карбонатизацией (в отличие от скв. 3305)

В целом керогеносыщение пород этой пачки также высоко (11,5%). Не исключено, что анализировались прослой между радиоляритами. Хотя и сами радиоляриты насыщены керогеном, что хорошо видно по шлифам («битумная вуаль»).

Таким образом, в пределах пачки встречается несколько литотипов пород (приблизительно в равных соотношениях) Это глинисто-кремнистые тонколистватые породы, кремнистые радиоляриты, кремнисто-карбонатные радиоляриты. Керогеносыщение первого литотипа самое высокое и закономерно уменьшается ко второму и третьему.

Общая пористость пород после экстракции составила 8,1% (диапазон изменения 3,7-10,4%).

Пачка С₂ керновыми исследованиями охарактеризована хуже всех. Представлена она битуминозными глинисто-кремнистыми породами с тонколистовой, слабочешуйчатой структурой. Содержание кремнистого материала по шлифам составило 50%, по геохимии до 70%. Содержание карбонатного материала низкое. Он встречается в виде редких включений перекристаллизованной микрофауны.

Общее содержание органического углерода 8,7%. Доля легких фракций в общем содержании керогена увеличивается до 18%.

Общая пористость пород после экстракции составила 7,8% (диапазон изменения 5,6-9,0%).

Пачка Р₂ (рис.4.1в) представлена битуминозной глинисто-карбонатно-кремнистой породой, обогащенной кремнистыми и частично карбонатизированными раковинами радиолярий. Иногда они собраны в тонкие прослои, образуя радиоляриты, но зачастую просто рассеяны в породе довольно равномерно. К подошве пачки встречаются мелкие линзочки мелкоалевритового материала. Содержание кремнистого материала по шлифам 42% (25-52%), по геохимии несколько выше (до 70%). Общее содержание карбонатного материала по шлифам достигает 24%, составляя в среднем 10,1%.

Обогащение керогеном пород почти такое же что и в пачке С₂ (8,6%), но доля легких фракций в керогене выросла до 20%.

Общая пористость пород после экстракции составила 9,7% (диапазон изменения 8,7-11,4%).

Пачка С₃ с литологической точки зрения пачка наиболее интересна, так как в породах ее повышено содержание обломочного материала (в среднем до 15%, хотя чаще его содержание составляет 4-5%). Представлен обломочный материал в виде тонких линзочек, обогащенных алевритовым (мелкие фракции) материалом. Но в скважине 3306 один образец представлен мелкозернистым песчаником ачимовского облика. Принадлежность его именно к баженовскому разрезу подтверждается включениями чисто баженовской фауны радиолярий. Аналогичные песчаники встречались в «аномальных» разрезах баженовской толщи на Северо-Алехинской площади (скв. 3062, 3063). Песчаник буровато-серый, мелкозернистый, аркозовый, плохо отсортированный. Максимальный

размер обломков до 0,35 мм, преобладают зерна размером 0,1-0,15 мм. Обломки представлены кварцем (35-40%), полевыми шпатами (45-50%), обломками пород (10-15%). Цемент поровый, гидрослюдистый, слегка битуминозный. Содержание его 15-20%. Встречаются взмученные линзовидные прослои из материала цемента, скопления точечных стяжений пирита (часто по полевым шпатам), редкие пиритизированные раковинки радиолярий и обломки кальцита (фрагменты раковин). Скорее всего, так же как и на Северо-Алехинской площади эти песчаные прослои представляют собой следы затухающего процесса формирования «аномальных разрезов» (Зарипов О.Г., 2001 и др.). Возможно, это последние порции зерновых потоков, сформировавшие мощные терригенные толщи в баженовской свите на востоке Сургутского свода. Возможно также, эти отложения связаны с действием других (собственно западных) глубоководных течений. Толщина песчаного прослоя в скважине 3306, скорее всего не превышает 10-15 см.

В целом же породы пачки представлены битуминозными глинисто-кремнистыми породами с тонколистоватыми текстурами, с тонкими линзами кремнистого и мелкоалевритового материала. По шлифам содержание кремнистого материала составляет 59%, по геохимии до 70%. В пределах пачки встречаются тонкие высокопиритизированные прослои (содержание пирита до 17%).

Содержание общего органического углерода составляет 10,2%. Доля легких фракций в керогене 17%.

Общая пористость пород после экстракции составила 8,1% (диапазон изменения 3,2-11,0%).

Пачка P₃ (рис.4.1в). Битуминозная карбонатно-глинисто-кремнистая порода с прослоями органогенных известняков-радиоляритов, в которых встречаются трещины, выполненные хорошо раскристаллизованным кальцитом. Карбонатным материалом зачастую обогащены и не радиоляритовые прослои. Здесь карбонат представлен в виде рассеянных карбонатных кристалликов. По шлифам общее содержание карбонатного материала в породе пачки в среднем составляет 25%, увеличиваясь в прослоях органогенных известняков до 75%. Много линзочек криптокремнезема. Общее содержание кремнистого материала по шлифам

составляет 34%, из них 24% относится к кремнистой микрофауне, по геохимии содержание SiO_2 в породе 62%.

Содержание общего органического углерода составляет 6,7%. Доля легких фракций в керогене 20%.

Общая пористость пород после экстракции составила 8,7% (диапазон изменения 3,2-11,1%).

Пачка P_4 (рис.4.1в) - наименее керогенонасыщенная часть разреза. Породы представлены слабобитуминозными глинисто-карбонатно-кремнистыми разностями, с тонколистовато-чешуйчатой текстурой основной массы. Как и в пачке C_1 , наблюдается оптическая ориентация чешуек гидрослюды. Прослоями порода обогащена пелетами кремнезема и реже глауконита. За счет этих пелет содержание кремнистого материала в породе наиболее высокое в разрезе: 50% (прослоями до 70%) по шлифам и до 93% (в среднем до 70%) по геохимии. Практически, весь этот кремнезем представлен криптокристаллическими разностями.

Как уже упоминалось выше, в пределах пачки выделен по данным геохимии стронциево-фосфатный репер. По керну он представлен фосфатно-карбонатной породой, образованной на базе кремнистого радиолярита. Раковинки радиолярий замещены кальцитом и сцементированы фосфатом (содержание фосфата по шлифу около 35%, по РФА –12%). Текстура пород пятнистая органогенная за счет неравномерного распределения фосфата и карбонатизированных раковинок радиолярий.

Содержание общего органического углерода самое низкое в разрезе и составляет 5,0%, а доля легких фракций в керогене 27% (наиболее высокое).

Общая пористость пород после экстракции составила 8,2% (диапазон изменения 2,46-11,3%).

4.1.4. Литологическая, геохимическая характеристики и емкостные параметры битуминозных пород баженовской свиты Биттемского месторождения

В основу характеристики разреза баженовской свиты Биттемского месторождения положен керн скважины 30 Северо-Биттемской площади. При его отборе использовалась изолирующая технология, что позволило

провести на этом керне работы по комплексу методов привязки и (вместе со скважиной 4021 Ай-Пимской) использовать полученные результаты для разработки методических приемов изучения битуминозных пород вообще.

Керном охарактеризованы пачки C_0 , C_1 , P_1 , C_2 , P_2 , C_3 , P_3 и P_4 , т. е., практически, весь разрез полностью (рис.4.2). Характеристика пачек приведена в таблице 4.1, битуминозного разреза в целом в таблице 4.2.

Пачка C_0 представлена тонколистоватыми глинисто-кремнистыми разностями пород, с нитевидными прослоями гумусового материала, к которому тяготеют многочисленные точечные пиритовые стяжения. Распространены литотипы 1 и 2. Содержание глины оценивается по шлифам в пределах 20-25%, кремнистого материала до 50-60%. Содержание керогена в среднем составляет 7-10%, повышаясь к подошве пачки до 15%. В нижней части пачки встречаются прослои с тонколистовато-чешуйчатыми текстурами. Карбонатный материал составляет в среднем 12%, в отдельных тонких прослоях увеличивается до 25%. Характерной особенностью пачки является то, что глинистый материал представлен гидрослюдой с оптической ориентацией чешуек, т.е. с жесткой упорядоченной структурой.

Пачка C_1 по вещественному составу мало чем отличается от пачки C_0 . Изменяется лишь структурно-текстурные характеристики пород. Для нее характерны литотипы 2 и 3. Отмечается некоторая взмученность осадка с появлением тонкой линзовидности и чешуйчатости. Встречаются единичные, тонкие радиоляритовые прослои кремнисто-карбонатного состава. Глинистая составляющая представлена также преимущественно гидрослюдой, но с разупорядоченной структурой, содержание глинистого материала 20-25%. Практически такое же содержание в породе керогена. Кварц представлен токо- и криптокристаллическими разностями, собранными в небольшие линзочки. Содержание их в породе достигает 45-55%. Содержание карбонатов составляет в среднем 15-20%, но в образцах с радиоляритовыми прослоями может повыситься до 50%. Среднее содержание пирита изменяется от 4 до 10%.

Пачка P_1 представлена переслаиванием токочешуйчатых разностей пород (литотип 3) с радиоляритами кремнистого и карбонатного состава (литотипы 4 и 5). При этом последние преобладают. В них содержание кремнистого материала опускается до 30%, а карбонатного увеличивается до

45-50%. Как правило, сохраняется некоторое содержание глинистого материала (до 22%) и пирита – до 10%, а в отдельных прослоях пиритизация пород увеличивается до 18%. Содержание керогена остается достаточно высоким и в среднем составляет 20-22%. Им выполняются все внутриформенные и межформенные промежутки, кроме того, как правило, обогащается битумным веществом и глинистый материал.

Пачка С₂ по вещественному составу близка к пачке С₁, Для нее также характерны литотипы 2 и 3. Но в отличие от последней, в пачке С₂, практически, не встречается радиоляритовых прослоев, при этом карбонатный материал в виде рассеянных мелких зерен может составлять до 14 %. Отмечается несколько повышенное содержание пирита – до 12%.

Пачка Р₂ керном охарактеризована слабо, она выделяется по каротажу в виде прослоя небольшой толщины и в керне присутствуют лишь породы литотипа 2. Возможно, их лучше привязать к пачке С₃, которая также характеризуется преобладанием пород литотипа 2. Отмечается повышенное содержание глинистой составляющей (до 29%) и керогена (до 22%). Содержание карбонатов не превышает 4-5%, а пирита – до 7%.

Пачка Р₃ отличается от вышележащей пачки появлением радиоляритовых прослоев кремнисто-карбонатного состава (литотип 5) и тем самым повышением карбонатности в этих прослоях до 34%. Одновременно растет содержание пирита до 10-20%. Содержание глинистого материала не превышает 20%, а кремнистого 45-50%. Породы слабобитуминозны. Содержание керогена не превышает 15%.

Пачка Р₄ хорошо охарактеризована керном. Для нее характерно распространение пород литотипа 2 и особенно литотипа 3, которые перемежаются с кремнистыми радиоляритовыми прослоями (литотип 4). Породы пачки характеризуются самым низким керогеносодержанием, которое не превышает 10%. Кремнистый материал составляет 40-50% и часто представлен мелкими (до 0,25 мм) линзочками и образованиями типа пелет. Некоторые из них проявляют признаки глауконизации.

4.2. Критерии прогнозирования зон перспективной продуктивности в отложениях баженовской свиты

Для целей практического применения полученных результатов необходимо сформулировать следующие принципы работы с информацией по керну:

1) Главным элементом исследования должен быть объект, надежно и воспроизводимо (независимо от исполнителя) выделяемый в разрезе скважины по комплексу ГИС. Для баженовской свиты таким объектом являются пачки С и Р. Они отражают объективные условия формирования отложений, цикличность и имеют четкие промыслово-геофизические параметры.

2) Классификация пород по литотипам должна основываться на закономерности (закономерностях) литологически разделяющих породы на преимущественно коллектор и преимущественно неколлектор. Для битуминозных отложений баженовской свиты это – структурно-текстурные признаки пород, а уже затем их минеральный состав, который, как было показано, изменяется для одних и тех же литотипов в довольно значительных пределах.

3) Необходимо установить наиболее чувствительный минеральный индикатор процессов формирования залежей. В качестве такового для баженовской свиты бесспорным является кероген. Изучение его геохимических признаков позволило сформулировать механохимическую модель формирования коллекторов, их приуроченность к литотипам, а также латеральную неоднородность отложений, постулируемую моделью тектонозависимых (механохимических) процессов, контролирующих нефтеносность баженовской свиты на рассматриваемой территории.

Анализ приведенных разрезов продуктивных скважин указывает на ряд тенденций в составе пород, связанных с цикличностью С-Р в их формировании: биогенные пачки Р более окремненные и карбонатизированные по сравнению с пачками С, которые преимущественно кремнисто-глинистые по составу. Содержание керогена по разрезу в целом претерпевает те же тенденции: радиоляриты менее керогенонасыщены по сравнению со слоисто-чешуйчатыми литотипами. Матричная емкость пород с учетом, что преобладающее число образцов вынесено из зон с низкой трещинной и кавернозно-трещинной емкостью, изменяется по разрезу в пределах от 2-3 до 10-15% (максимум 27%).

Наиболее полно и объективно характеризует реальное латеральное и вертикальное строение отложений примеры систематизация результатов исследований по скважинам четырех исследуемых месторождений, к которым для латерального контраста добавлена расположенная сравнительно далеко на юге скв.11 Сахалинского месторождения. В таблице 4.1 подробно представлены литолого-минералогические, геохимические и емкостные характеристики пород в каждой скважине по пачкам, а в таблице 4.2 для этих же скважин представлены те же параметры, но усредненные уже в пределах свиты в целом.

Баженовская свита по результатам проведенных исследований отличается крайней неоднородностью. В пределах одной пачки (таблица 4.1, раздел 2), например С₁, разброс параметров глинистости между скважинами составляет 22.75 % (от 12 до 34.75 %), керогенонасыщение изменяется от 6.33 до 30.29 %, сумма карбонатов колеблется от 1.94 до 42 %, а содержание пирита – от 4.29 до 16.5 %. Нижняя часть разреза (пачка Р₃): глинистость – 0-21.75 %, керогенонасыщение – 3-16.22 %, карбонатность - 4.78-75 %, содержание пирита – 6-20.22 %. Химический состав пород отражает минеральный и воспроизводит такую же степень неоднородности. Аналогично по емкостным характеристикам (раздел 1) и геохимическим параметрам керогена (раздел 3).

Это позволяет предположить, что минеральный состав битуминозных отложений свиты не определяет непосредственно ее продуктивности.

Проанализируем результаты предложенной классификации пород баженовской свиты по литотипам с учетом текстурных признаков в качестве основного классифицирующего элемента. В составе битуминозных пород баженовской свиты выделены следующие литотипы::

- тонколистоватые битуминозные глинисто-кремнистые разности;
- тонколистовато-чешуйчатые битуминозные глинисто-кремнистые разности;
- тонколистовато-чешуйчатые битуминозные и слабобитуминозные глинисто-карбонатно-кремнистые разности;
- радиолярит кремнистый битуминозный;
- радиолярит кремнисто-карбонатный слабобитуминозный.

Как видно из таблицы распространения литотипов пород по пачкам (табл.2.2) 1, 2 и 3 литотипы характерны для пачек С. В пачках Р, наряду с первыми тремя, встречаются и литотипы 4 и 5. Другими словами, литотипы 1, 2, 3 распространены, практически во всех пачках, а литотипы 4 и 5, чаще встречаются лишь в пачках Р.

В таблице 2.3 приведены основные петрофизические, литологические и геохимические параметры для каждого выделенного литотипа. Имеются в виду наиболее распространенные литотипы. Такие редко встречающиеся, как песчаники или фосфаты, в расчеты не принимались.

Сопоставление таблиц 2.1, 2.2 и 4.1 показывает, что, несмотря на определенную дифференциацию пачек по вещественному составу, осредненные значения их общей пористости изменяются мало, оставаясь в пределах 8-9,5%. В то же время, из таблицы 2.3 хорошо видно, что значения общей пористости для отдельных литотипов отличаются существенно, и вполне закономерно уменьшаются от первого литотипа (Кп общ.=9,1%) к пятому литотипу (Кп.общ.=4,9%).

Несмотря на тенденцию увеличения кремнистости пород к подошве свиты, не отмечается заметного отличия этого параметра для пачек С и Р. Действительно для литотипов 1, 2, 3 значения кремнистости близки. Вариации отмечаются лишь в радиоляритах (литотип 4 и 5). Общая же карбонатность пород пачек С и Р довольно существенно отличается между собой: в пачках С изменяется в пределах 6-8%, в то время как в пачках Р - 10-25%, то есть в них существенную роль играют литотипы 3 и 5.

Интересные выводы можно сделать из анализа керогенонасыщения отдельных литотипов. И по шлифам и по пиролизу наиболее керогенонасыщенным оказывается литотип 3, а наименее битуминозными выглядят 4 и 5 литотипы, особенно по данным пиролиза.

В заключении отметим, что по керновым данным процент (по отношению к выборке) каждого из литотипов в целом на рассматриваемой территории выглядит следующим образом: литотип 1 составляет около 10 %, литотип 2 - 42-44 %, литотип 3 - 32-36 %, литотип 4 - около 5 %, литотип 5 - около 10 %. Таким образом, наиболее распространены в разрезах породы 2-го и 3-го литотипов, в сумме они охватывают более 75 % разреза.

Наибольшей степенью расланцевания характеризуются породы литотипа 1, особенно те разности, которые содержат гидрослюдистые минералы с оптически ориентированной текстурой. Такие разности преобладают в двух частях разреза: в кровле пачки C_1 и в нижней части пачки P_4 . Обе эти части разреза характеризуются повышенным содержанием глины, но в кровле пачки C_1 глина содержит большое количество керогена, а к подошве пачки P_4 - керогеносодержание низкое, но существенно растет гнездовидная пиритизация пород и насыщение ее кремнеземом. Наиболее хрупкими, а следовательно подверженными трещиноватости, являются литотипы 4 и 5, характерные для пачек P , особенно для P_4 . Следовательно, использование текстурных признаков в качестве классификационного критерия литологического разделения пород позволяет дифференцировать их с точки зрения перспектив образования коллекторов в результате тектонозависимых процессов, но так же не отвечает на вопрос о закономерностях их размещения.

Небольшой размер территории и близость палеогеографических условий осадконакопления приводят также к латеральному нивелированию петрохимических коэффициентов, тогда как по разрезу они отражают и уровень сероводородного заражения бассейна (соотношение Fe/S), и периоды его относительного опреснения (Ba/Sr , Ba/Ga , соотношение щелочных и щелочно-земельных комплексов). Обращает на себя внимание, что в составе кремнисто-глинистых пачек C встречаются прослой карбонатизированных радиоляритов с содержанием кальцита и/или доломита до 86 % (скв.4021 Ай-Пимского м-я, скв.3821 Западно-Камынского м-я). Примечательно, что эти интервалы при испытании дали притоки нефти в обеих скважинах, в то время как в других скважинах тех же месторождений (4012 и 540 соответственно) при более низкой карбонатизации пачек C притоков из этих интервалов не получено. Аналогичные прослой кремнистых радиоляритов содержат до 81.25 % кремнезема (скв.540 Западно-Камынского м-я) (табл.4.1).

Глубины бассейна на всем протяжении формирования отложений не превышали, по мнению автора 300-400 метров, о чем свидетельствуют также петрохимические параметры пород, в частности соотношения Mn/Fe и Ti/Fe . В то же время отсутствие следов волновой деятельности в виде взмучиваний, размывов или оползания нелитифицированных осадков позволяет

предположить, что она всегда оставалась более 100-150 метров (Коровина Т.А. и др., 1999- 2003).

Формирование отложений баженовской свиты происходило в условиях длительного сероводородного заражения баженовского моря. Источником сероводорода были глубокие слои земной коры, но накопление сульфидов в осадке происходило биогенным путем с участием цианобактерий или (и) (в соответствии с последними открытиями в микробиологии) возможно более простейших микроорганизмов (архей), имеющих серу основным элементом своей жизнедеятельности. Периоды формирования органогенных пачек Р характеризуются минимальным содержанием пирита, а следовательно в палеогеографическом плане снижением подтока гидротермальных сероводородных флюидов, что весьма логично приводило к наращиванию морской биоты, в том числе и водорослевой. Пачки же С, напротив, более пиритизированы.

Однако, удалось установить, что текущее содержание пирита в породе, контролируется не серой, но растворенным в морской воде баженовского бассейна железом. Анализ соотношения Fe и S (рис.4.1) в сочетании с наблюдениями опущения керна избыточной серой (рис.3.1) и повышенным содержанием меркаптанов в некоторых хлороформенных экстрактах битумондов показал во всех разрезах периодическое снижение содержания Fe по отношению к S против формульного пиритного (около 1). Поэтому следует ожидать, что битуминозный разрез баженовской свиты фрагментарно может сохранить реликтовое H_2S заражение, в виде сорбированного керогеном сероводорода или меркаптанов (Коровина Т.А., Кропотова Е.П. и др., 2001, 2002).

Интересно, что все эксперименты на битуминозных породах, связанные с их нагревом, уже в интервале температур 240-300°C фиксируют значительное выделение сероводорода, что не может быть связано с разложением пирита. Так же исключается, что пирит является источником серы на поверхности керна – известно, что окисление пирита не происходит при атмосферных условиях на воздухе, для этого его необходимо нагреть до температуры не ниже 500°C.

В нижней части разреза баженовской свиты (пачки Р₃ Р₄) наблюдается реперный прослой повышенного содержания фосфора. Он встречается в

разрезе однажды, но во всех скважинах (при отсутствии керна определяется по сочетанию противоположных аномалий записи ГК и НКТ). Уместно предположить, что причиной повышения содержания фосфора кратно над фоновым послужила массовая гибель рыб и моллюсков в этот период, связанная с началом интенсивного сероводородного заражения или с выходом сероводорода на поверхность баженовского моря.

Приведенные палеогеографические реконструкции, опирающиеся преимущественно на химические исследования пород, менее всего зависимые от начальной пробоподготовки, не противоречат ранее полученным данным (Нестеров И.И. и др., 1980; Конторович А.Э. и др., 1983; Ушатинский И.Н., 1979; Зубков М.Ю., 2000 и другие).

Однако, даже обновленные новыми знаниями они не могут ответить на вопрос о природе коллекторов и закономерностях их размещения.

Таким образом, условия формирования битуминозных отложений баженовской свиты, в отличие от терригенных осадков не определяют природы коллекторов, а прямые литолого-минералогические предпосылки для их формирования отсутствуют.

Обратимся к результатам геохимических исследований керогена и их интерпретации.

Чтобы понять роль керогена в формировании продуктивных отложений необходимо ответить на несколько вопросов, с ним связаны Во-первых, что представляет из себя кероген морфологически и геохимически? Во-вторых, какова его роль в формировании коллектора в битуминозных отложениях? В-третьих, может ли он быть индикатором процессов постлитификационных преобразований пород? При этом автор принципиально не определяет своего отношения к двум противоположным моделям нефтеобразования.

Геохимически в первом приближении кероген представляет собой аморфную фазу органического вещества углерод-углеводородного состава, валовая формула которого близка к сапропелевому веществу - липидной органики морского происхождения. Ставшие доступными в последние три года экспериментальные работы по моделированию внутрипластового горения позволили увидеть эту двуединую сущность керогена при помощи сканирующей электронной микроскопии. Сравнение образцов до и после длительного влажного пиролитического нагревания (рис.3.2) показывает:

- до нагревания кероген представлен однородной аморфной массой, обволакивающей все аутигенные и обломочные фрагменты минеральной матрицы породы без следов кристаллохимического либо кристаллофизического замещения, без химического взаимодействия с компонентами породы (рис.3.2 и 3.1);

- после нагревания на отдельных электронномикроскопических снимках видны либо следы «усыхания» керогена с объемным дефицитом до 15 % (рис.3.2а) на плотных участках породы без видимых фильтрационных каналов прогрева, либо листоватые полупрозрачные для электронов останцы углеродного состава внутри фильтрационных каналов прогрева (рис.3.2в).

Кроме того, при пиролитическом прогреве в образцах появляются фильтрационные каналы прогрева, внутри которых видны нагромождения изолированных друг от друга аутигенных кристаллов высокодисперсной гидрослюды (рис.3.2б).

Итак, в первом приближении геохимически кероген - углерод-углеводородное образование, а морфологически он представлен изоморфным углеродным каркасом (пластинчатым (рис.3.2в), а возможно и волокнисто-каркасным (Григорьева Г.Ф. и др., 1979) с углеводородной оболочкой. Соотношение этих двух компонентов, как показывает эксперимент, лабильно и зависит от термобарических условий. Кероген выглядит на электронномикроскопических снимках как аморфная масса, обволакивающая кристаллы и отдельные обломки минеральной матрицы породы (своего рода битумная цементация).

В таблице 2.1 приведены результаты теплофизических исследований битуминозных пород по скв.4021 Ай-Пимского месторождения. Именно они послужили автору ключом к толкованию противоречий в предшествующих научных работах (Щепеткин Ю.В., 1981 и другие) по реконструкции параметров палеотемператур до 250-300 и даже 400°C, а в последствие пониманию некоторых процессов, сопровождающих формирования залежей нефти в баженовской свите (Коровина Т.А. и др, 2000, 2002, 2004).

В столбце «Температурный интервал окислительного процесса (конец)» многократное изменение температур от 465 до 1000°C с позиций классических представлений свидетельствует о значительном разбросе параметров катагенетической зрелости керогена на незначительном

интервале и отсутствии их зависимости от глубины погружения, а также литогеохимических факторов (рис.4.1 и 4.2).

Предстояло не только ответить на вопрос о причинах существенного завышения палеотемператур в невызываемом сомнений эксперименте по декриптографии (Щепеткин Ю.В.), но и объяснить многократную смену температур разложения керогена в ограниченном интервале разреза отдельной скважины. Традиционные подходы не позволяли найти ответ: предположение о воспроизводимой смене типа исходного органического вещества, которая не коррелируется даже в соседних скважинах, представлялось неубедительным. Еще менее убедительными выглядели модели кратковременного погружения (на сотни метров!) отложений. Следовательно, связей между минеральным составом пород, палеогеографическими условиями, с одной стороны, и состоянием керогена, с другой, не устанавливалось (рис.4.1 и 4.2).

Открывшиеся возможности детального геохимического исследования керогена на пиролизаторе Rock Eval 6 и накопленные по 18 скважинам данные, приведенные на рис.3.4, позволили выделить наиболее значимые параметры керогена, которые с одной стороны чувствительны к изменениям термобарических условий, а с другой стороны не зависят от начального состояния керна. В качестве таковых были выбраны водородный индекс (HI), максимальная температура выхода органики (T_{max}), содержание общего органического углерода (C_{org}) и содержание углеводородов тяжелой фракции в породе (S_2). Диапазон значений водородных индексов (HI) и значений максимальных температур выхода тяжелых углеводородов (T_{max}) в изученных коллекциях меняется в довольно широких пределах не только внутри разреза отдельной скважины, но и между расположенными рядом месторождениями (рис.3.4а), а зависимость содержания органического углерода (C_{org}) и количества тяжелых углеводородов (S_2) носит линейный характер с коэффициентом корреляции R^2 от 0.927 до 0.983 (рис.3.4б).

Линейный характер любой корреляционной зависимости свидетельствует об ограниченном числе степеней свободы системы, то есть вероятнее всего фактор, контролирующий такое ее поведение, - один. Сопоставление продуктивности рассматриваемых скважин с поведением линейных зависимостей на графиках (рис.3.4б) показало, что между ними

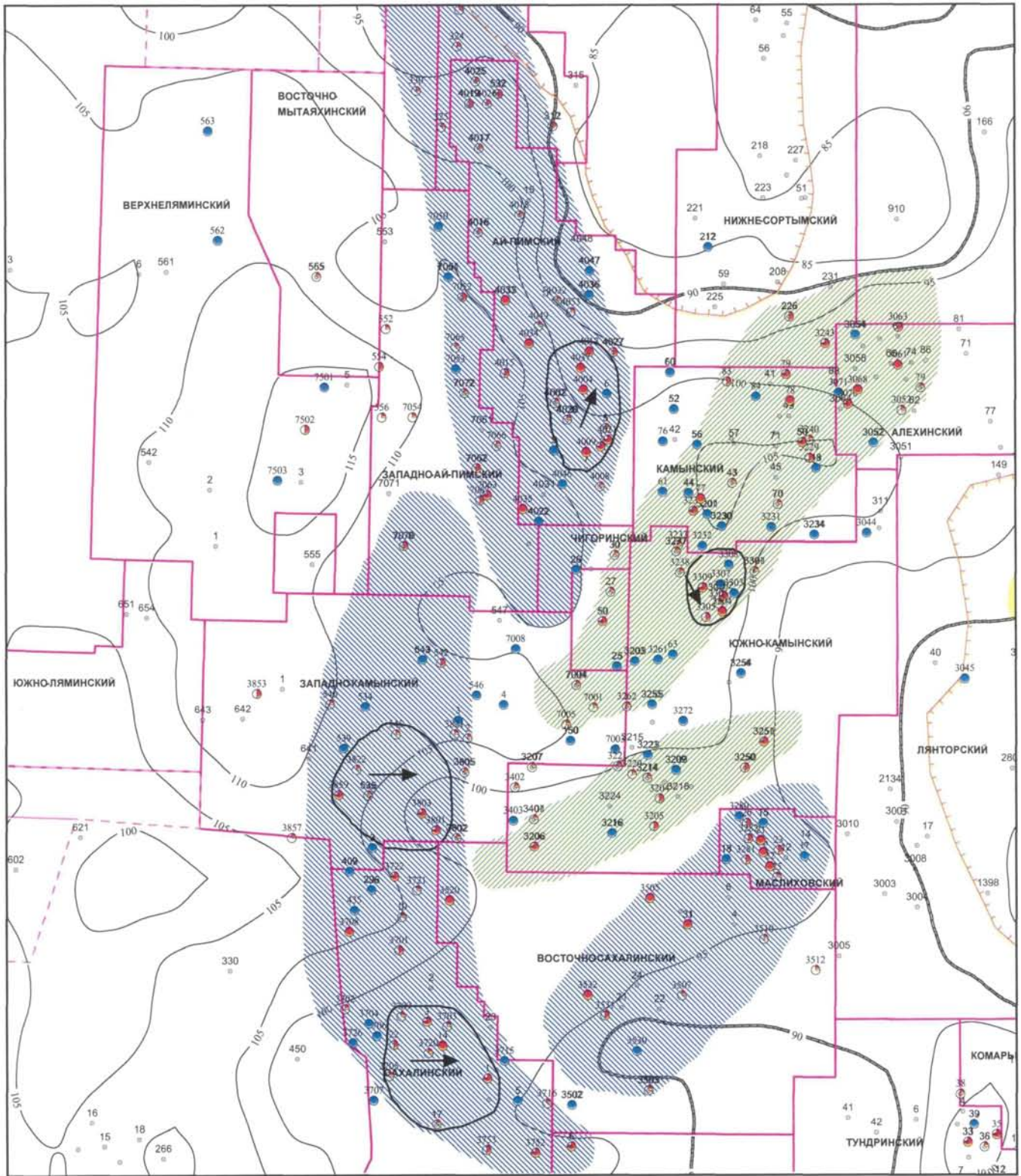


Рис.4.3 Фрагмент карты перспектив нефтеносности баженовской свиты на территории деятельности ОАО "Сургутнефтегаз" (Т.А.Коровина)

- | | | | |
|-----|---|-----|--|
| 1 | - местоположение и номер поисково-разведочных скважин | — | - кажущееся сопротивление менее 200 Ом·м |
| 10 | - дебит в пласте ЮС ₀ = 0-1 м ³ /сут | ▨ | - перспективная зона |
| 1 | - дебит в пласте ЮС ₀ = 1-3 м ³ /сут | ▨ | - высокоперспективная зона |
| 1 | - дебит в пласте ЮС ₀ = 3-10 м ³ /сут | → | - направление изменения катагенетической зрелости керогена |
| 14 | - дебит в пласте ЮС ₀ >= 10 м ³ /сут | --- | - границы поисковых блоков |
| 543 | - скважины, в которых притока не получено | ▭ | - границы лицензионных участков |
| — | - изотермы | | |

существует реальная связь – чем выше продуктивность, тем меньше угол наклона прямой. На рис.4.3 в пределах каждой закрашенной зоны (месторождения) эта тенденция показана стрелками.

Сопоставление прогнозной карты-схемы продуктивности (рис.4.3) битуминозных отложений баженовской свиты с тектонической картой территории (рис.1.3) показало, что наиболее высокопродуктивные участки тяготеют к зонам разломов. А в сочетании с анализом современного структурного плана по кровле пласта ЮС₀ – к крыльям положительных структур (вероятнее всего тектонических складок) (рис.4.3).

На основании такой структуры систематизации результатов исследований целесообразно сделать некоторые принципиальные выводы.

Учитывая выявленные закономерности, для пласта ЮС₀ следует ожидать микротрещинной и поровой емкости (K_p) в пачках С₁, Р₁, С₂ и преимущественное наличие трещинного и трещинно-кавернозного типа коллектора в пачке Р₁ и Р₂. В пачках С₁ и С₂ трещино-кавернозный коллектор может развиваться в единичных прослоях кремнистых и карбонатных радиоляритов.

По первичным признакам нефтеносности битуминозных отложений баженовской свиты на изучаемой территории все указанные месторождения оконтурены изотермой 95°С (рис.4.3), что считается определяющим (Баженова О.К., 1985; Вассоевич Н.Б., 1975, 1982; Гурари Ф.Г., 1973, 1974, 1982; Гончаров И.В., 1987; Дорофеева Т.В. и др., 1983, 1992; Конторович А.Э. и др., 1994, 1998; Нестеров И.И., Ушатинский И.Н., 1986; Сонич В.П. и др., 1985, 1997 и другие) для углеводородной катагенетической зрелости керогена (МК 2 и МК3). В западном направлении пластовые температуры растут, и граница рассматриваемой территории оконтуривается изотермой 110-115°С.

Заключение

В результате выполненной работы установлено:

1. Наиболее перспективными с точки зрения углеводородообразования в битуминозных отложениях баженовской свиты являются глинистые и кремнисто-глинистые литотипы с тонколистоватой и чешуйчатой микротекстурами (пачки С₁, Р₁, С₂). Они содержат от 15-17 до 22-25 % керогена (минимальное - 6 %, максимальное - 33 %).

2. Кавернозно-трещиновые и кавернозно-порово-трещинные коллектора приурочены к кремнистым и карбонатным радиоляритам пачек P_1 и P_2 . Как правило, в них сосредоточены основные промышленные запасы нефти на изученных месторождениях. Содержание керогена в них ниже, чем в тонколистоватых и чешуйчатых литотипах: от 10-12 до 18-20 % (минимальное – 3 %, максимальное – 22 %). Причем, дифференциации его содержания в пачках С и Р нет.

3. Геохимическим критерием перспективности промышленной нефтеносности отложений битуминозных отложений баженовской свиты являются сочетание параметров содержания S_{org} и катагенетической зрелости керогена (водородный индекс HI и T_{max}).

4. Максимальная продуктивность баженовской свиты характерна для западного склона Сургутского свода и примыкающего к нему восточного борта Фроловской мегавпадины (пластовые температуры 105-110°C), к востоку, в зоне с пластовыми температурами 95-100°C перспективы нефтеносности оцениваются ниже.

5. От глубины залегания, толщины битуминозных отложений на рассматриваемом участке продуктивность баженовской свиты не зависит.

Список используемых источников

1. Аввакумов В.Г. Механические методы активации химических процессов. Новосибирск.-Наука.- 1986.- 356 с.
2. Ассоциация микроэлементов с органическим веществом в осадочных толщах Сибири /Сб. науч. трудов. Ред. В.А.Кузнецов,-Новосибирск: ИГиГ СОАН СССР, 1984, 156 с.
3. Баженова О.К., Бурлин Ю.К. Силициты – перспективный нефтеносный объект-//Вестн. МГУ.сер. Геология,- 1985.-№4.- С.33-43.
4. Белкин Н.М., Ибраев В.И. Прогноз напряженного состояния верхнеюрских отложений по комплексу ГИС-сейсморазведка на Ай-Пимском месторождении.// Пути реализации нефтегазового

потенциала ХМАО.-Ханты-Мансийск.-Издательский дом
«ИздатНаукаСервис».-2003.-С.233-240

5. Брадучан Ю.В., Гольберт А.В., Гурари Ф.Г. и др. Баженовский горизонт Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1986, 217 с.
6. Булынникова С.П., Гольберт А.В., Конторович А.Э. и др. Палеобиофации нефтегазоносных волжских и неокомских отложений Западно-Сибирской плиты. М.: Недра, 1978, 86 с.
7. Вассоевич Н.Б. Происхождение нефти /Вестн. МГУ.сер. Геология.- 1975.- №5.- С. 3-23.
8. Вассоевич Н.Б., Баженова О.К., Бурлин Ю.К. Нефтематеринский потенциал осадочных образований. М.: ВИНТИ, 1982, 136 с.
9. Векшина В.Н. Элементы палеогеографии мезозоя и палеогена Западно-Сибирской низменности по данным анализа диатомовых водорослей и кокколитофорид // Труды СНИИГГиМС. 1962. вып. 26- С.101-108.-Л.: Гостоптехиздат
10. Вендельштейн Б.Ю., Царева Н.В., Костерина В.А. Оценка фильтрационно-емкостных свойств сложных коллекторов баженовской свиты методами ГИС.// Геофизика.-2001.-№4_С.49-55.
11. Виноградова Т.А. (Коровина Т.А.). Использование метода рентгеновских косых текстур для интерпретации структурных особенностей смешанослойных образований гидрослюда-монтмориллонитового ряда.// VIII Всесоюзное совещание по рентгенографии минерального сырья. /Тезисы докладов. М., 1979. С.126.
12. Гольберт А.В., Маркова Л.Г., Полякова И.Д. и др. Палеоландшафты Западной Сибири в юре, мелу и палеогене. М.: Наука, 1968, 152 с.
13. Гончаров И.В. Геохимия нефтей Западной Сибири. М.: Недра, 1987, 182 с.
14. Грамберг И.С. Палеогидрохимия терригенных толщ. Л.: Недра, 1973, 171 с.

15. Григорьева Г.Ф., Нестеров И.И., Рыльков А.В. и др. Геология и геохимия нижнемеловых и юрских отложений центральной части Западно-Сибирской провинции. М.: Недра, 1976, 116 с.
16. Гришкевич В.Ф. Макет стратиграфической схема мезозойских отложений центральных районов Западно-Сибирской равнины и его теоретическое обоснование.// Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО.-Ханты-Мансийск._ 2001.-С.130-142.
17. Гурари Ф.Г. Геология и перспективы нефтегазоносности Обь-Иртышского междуречья. Л.: Гостоптехиздат, 1959, 174 с.
18. Гурари Ф.Г., Гурари И.Ф. Формирование залежей нефти в аргиллитах баженовской свиты Западной Сибири //Геология нефти и газа.- 1974.- №5.- С.36-40.
19. Гурари Ф.Г., Вайц Э.Я., Меленевский В.Н. и др. Условия формирования и методика поисков залежей нефти в аргиллитах баженовской свиты. М.: Недра, 1988, 200 с.
20. Гурова Т.И., Казаринов В.П. Литология и палеогеография Западно-Сибирской низменности в связи с нефтегазоносностью. М.: Гостоптехиздат, 1962, 372 с.
21. Диагенез и катагенез осадочных образований.// Сборник статей под ред. Г.Ларсена и Дж. Чилингара/. М, «Мир», 1971 г.
22. Добрынин В.М. Проблема коллектора нефти в битуминозных глинистых породах баженовской свиты //Изв. АН СССР. Серия геологич.- 1982.- №3- С.120-127.
23. Доманикиты Сибири и их роль в нефтегазоносности /Сб. науч. тр. Ред. Ф.Г.Гурари, Новосибирск: СНИИГГиМС, 1982, 135 с.
24. Дорофеева Т.В., Аристаров М.Г., Блинкова Е.Ю. и др. Локальный прогноз залежей нефти баженовской свиты. М.: Недра, 1992, 144 с.
25. Дорофеева Т.В., Краснов С.Г., Лебедев Б.А. и др. Коллекторы нефти баженовской свиты Западной Сибири. Л.: Недра, 1983, 132 с.
26. Зарипов О.Г., Ушатинский И.Н. Особенности формирования, строения и состава битуминозных отложений баженовской свиты в связи с их

- нефтеносностью //Труды ЗапСибНИГНИ. Тюмень, 1976, вып.113.- С.53-71.
- 27.Зубков М.Ю., Мормышев В.В. Вещественный состав и условия образования пород баженовской свиты Салымского месторождения//Литол. и полезн. ископ.- 1987.- №2.- С.73-81.
- 28.Зубков М.Ю., Бондаренко П.М., Трухан Я.А., Лазарев А.Г. 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.-Ханты-Мансийск._2000.-С.174-188.
- 29.Зубков М.Ю., Портместер Я.А., Николук В.И. Прогноз углеводородных залежей на основе тектонофизического моделирования на примере Славинского месторождения.//Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО./-Ханты-Мансийск.-2004.-С.114-132.
- 30.Клубова Т.Т. Глинистые коллекторы нефти и газа. М.: Недра, 1988, 159 с.
- 31.Конторович А.Э., Берман Е.Л., Богородская Л.И. и др. Геохимия юрских и нижнемеловых отложений Западно-Сибирской низменности. М.: Недра, 1971, 252 с.
- 32.Конторович А.Э., Меленевский В.Н., Занин Ю.Н. и др. Литология, органическая геохимия и условия формирования основных типов пород баженовской свиты (Западная Сибирь) //-Геология и геофизика-1998.- т.39, №11.- С.1477-1491.
- 33.Конторович А.Э., Нестеров И.И., Салманов Ф.К. и др. Геология нефти и газа Западной Сибири. М.: Недра, 1975, 680 с.
- 34.Конторович А.Э., Сурков В.С., Трофимук А.А. и др. Нефтегазоносные бассейны и регионы Сибири //Западно-Сибирский бассейн.- Новосибирск: ОИГГиМ, 1994, вып.2.,201 с.
- 35.Конторович А.Э., Меленевский В.Н., Занин Ю.Н.,Замирайлова А.Г., Казаненков В.А., Казарбин В.В., Махнева Е.Н., Ямковая Л.С.

- Литология, органическая геохимия и условия формирования основных типов пород баженовской свиты. (Западная Сибирь) Геология и геофизика Том 39, № 11, Новосибирск, 1998.
36. Кос И.М., Коровина Т.А., Кропотова Е.П., Федорцов И.В., Шаравьева Г.Н. Способ оценки емкости и нефтенасыщенности пород баженовской свиты через параметры плотности пород и флюида. // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО.- Ханты-Мансийск.- Путиведь-2001.- С.372-381.
37. Коровина Т.А., Ильин В.М., Романов Е.А., Чернышев В.Т., Кропотова Е.П. Минералогические методы исследования в системе контроля за результатами лабораторного термохимического моделирования нефтеотдачи битуминозных пород. // Органическая минералогия.- Материалы I Российского совещания по органической минералогии.- СПб.- 2002.- С.103-106.
38. Коровина Т.А., Чернышев В.Т., Романов Е.А., Кропотова Е.П., Салмин М.В. Термогравиметрические методы и электронная микроскопия в исследовании керогена битуминозных пород баженовской свиты. // Органическая минералогия.- Материалы I Российского совещания по органической минералогии.- СПб.- 2002.- С.106-109..
39. Кропотова Е.П., Коровина Т.А., Федорцов И.В. Особенности состава, физико-химических свойств и емкостных характеристик битуминозных аргиллитов. // Нефтяное хозяйство.-2001.-№9-С.22-25.
40. Коровина Т.А. Исследование особенностей структуры упорядоченного смешанослойного образования глауконит-монтмориллонитового ряда. // IX Всесоюзное совещание по рентгенографии минерального сырья. /Тезисы докладов. Казань, 1983. С.140.
41. Коровина Т.А., Кропотова Е.П., Шаравьева Г.Н., Федорцов И.В. Литофациальная характеристика пород баженовской свиты Сургутского района по керну и геофизике. / В сб. «Нефть Сургута». М.:«Нефтяное хозяйство».1997. С.138-145. Соавторы:
42. Коровина Т.А. Глинистые минералы и цеолиты как индикаторы зон вторичных преобразований коллекторов в продуктивных отложениях

- Западной Сибири. // Научно-практическая конференция «Научные проблемы Западно-Сибирского нефтегазоносного региона»./ Тезисы докладов. Тюмень. 1999. С.76-78.
43. Коровина Т.А., Кропотова Е.П. Форма представления литологической информации при интерпретации ГИС и пластовом моделировании.// Третья научно-практическая конференция «Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО». /Ханты-Мансийск. «Путиведь». 2000. С.346-352 .
44. Форма представления литологической информации при интерпретации ГИС и пластовом моделировании. //Сборник научных трудов «СургутНИПИнефть» «Вопросы геологии, бурения и разработки нефтяных и газовых месторождений Сургутского региона», т.П. Екатеринбург. «Путиведь». 2000. С.54-65. Соавторы: Кропотова Е.П.
45. Коровина Т.А., Кропотова Е.П., Федорцов И.В. Геохимические методы изучения особенностей осадконакопления ачимовских и верхнеюрских отложений Сургутского свода Западной Сибири (современный комплекс литолого-геохимической информации).// Материалы I Всероссийского литологического совещания «Проблемы литологии, геохимии и рудогенеза осадочного процесса», т.1. М.: «ГЕОС». 2000. С.368-370. Соавторы:
46. Коровина Т.А., Кропотова Е.П., Федорцов И.В. Особенности вещественного состава пород баженовской свиты на Ай-Пимской площади. Нефтяное хозяйство, 2001, № 6, С.18-22.
47. Коровина Т.А., Кропотова Е.П., Федорцов И.В. Особенности вещественного состава пород баженовской свиты на Айпимской площади в зонах перспективной продуктивности. //Четвертая научно-практическая конференция «Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО». /Ханты-Мансийск, «Путиведь», 2001. С.220-231.
48. Коровина Т.А., Романов Е.А., Ильин В.М., Федорцов И.В., Кропотова Е.П. Использование новых информационно-технологических возможностей современного лабораторного комплекса в изучении сложных коллекторов и разработке трудноизвлекаемых углеводородов.

- // I Научно-практическая Международная конференция «Нетрадиционные источники углеводородного сырья и возобновляемые источники энергии» /Тезисы докладов. С-Пб, ВНИГРИ, 2002. С.90-92.
- 49.Коровина Т.А., Федорцов И.В., Кропотова Е.П., Романов Е.А. Особенности строения и вещественного состава пород баженовской свиты на примере Ай-Пимского месторождения. // I Научно-практическая Международная конференция «Нетрадиционные источники углеводородного сырья и возобновляемые источники энергии» /Тезисы докладов. С-Пб, ВНИГРИ, 2002. С.90-92.
- 50.Коровина Т.А., Минченков Н.Н., Кропотова Е.П., Федорцов И.В. и др. Сейсмостратиграфическая модель образования опесчаненных разрезов баженовской свиты на Сургутском своде. // Пятая научно-практическая конференция «Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО». /Ханты-Мансийск. «Путиведь». 2002. т.1. С.229-236.
- 51.Коровина Т.А., Глякина О.Л. Исследование изоморфных замещений в карбонатах методами термогравиметрического и рентгенофлуоресцентного анализов. // I Всероссийская конференция «Физико-химические процессы в конденсированном состоянии и на межфазных границах «ФАГРАН-2002». / Материалы конференции. Воронеж, ВГУ. 2002. С.146.
52. Коровина Т.А., Кропотова Е.П., Федорцов И.В., Минченков Н.Н., Муравенкова М.Г. Закономерности формирования и распространения зон «аномальных разрезов» баженовской свиты на Сургутском своде. // Шестая научно-практическая конференция «Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО». /Ханты-Мансийск, издательский Дом «ИздатНаукаСервис». 2003. Т.1. С.238-246 .
- 53.Коровина Т.А., Ильин В.М., Романов Е.А. Реализация потребностей постоянно-действующих моделей в современных лабораторных исследованиях и их отражение в нормативных документах.// Международный технологический симпозиум «Интенсификация добычи нефти и газа» 25-28 марта 2003 г. /Интенсификация добычи

- нефти и газа. Материалы международного симпозиума. М.: Академия народного хозяйства при Правительстве Российской Федерации, 2003. С.105-112.
54. Коровина Т.А., Марков В.В. Окислительно-пиролитический метод изучения конденсированного органического вещества (керогена) в горных породах. // II Всероссийская конференция «Физико-химические процессы в конденсированном состоянии и на межфазных границах «ФАГРАН-2004». / Материалы конференции. Воронеж, ВГУ. 2004. С.405-407.
55. Котельников Д.Д., Конюхов А.И. Глинистые минералы осадочных пород. М.: Недра, 1986, 248 с.
56. Леворсен А.И. Геология нефти и газа / Перевод с англ. М.: Мир, 1970, 639 с.
57. Лопатин Н.В., Емец Т.П. Нефтегенерационные свойства баженовской свиты на территории Ханты-Мансийского автономного округа. В сб. «Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО». Вторая НПК. Ханты-Мансийск, 1999 г.
58. Методы лабораторного изучения осадочных пород. Под ред. Н.М.Страхова-М.: Госгеолиздат, 1957, т. I –612 с., т. II – 564 с.
59. Методика и результаты изучения минералогии глин продуктивных отложений Западно - Сибирской низменности в связи с их нефтегазоносностью / И.Н.Ушатинский, П.К.Бабицын, О.Г.Зарипов и др. –Тюмень, ЗапСибНИГНИ (труды, вып.35), 1970, 314 с.
60. Мкртчян О.М. О строении баженовской свиты // Изв. АН СССР. Серия геологич.- 1985.- №7.- С.29-33.
61. Мясникова Г.П., Шпильман А.В. Нефтегеологическое районирование территории ХМАО.// Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО. –Ханты-Мансийск.- 2000.-С.138-162.
62. Неелов А.Н. Петрохимическая классификация метаморфизованных осадочных и вулканических пород. Л.: Наука, 1980, 285 с.
63. Неручев С.Г. Уран и жизнь в истории Земли. Л.: Недра, 1982, 208 с.

- 64.Неручев С.Г., Рогозина Е.А., Шиманский В.К. и др. Справочник по геохимии нефти и газа. С-Пб.: Недра, 1998, 576 с.
- 65.Нестеров И.И., Петросян Л.Г., Сонич В.П., Хабаров В.В. Исследование нефтегазоносных разрезов баженовской свиты. М.: ВИЭМС, 1988, 60 с.
- 66.Нестеров И.И., Ушатинский И.Н. Баженовская свита Среднего Приобья//Сов.геология.- 1986.- №2.- С.32-39.
- 67.Нестеров И.И., Ушатинский И.Н., Малыхин А.Я. и др. Нефтегазоносность глинистых пород Западной Сибири. М.: Недра, 1987, 256 с.
- 68.Нефтеносность баженовской свиты Западной Сибири / Сб. науч. тр. Ред. Н.А.Крылов, М.: ИГиРГИ, 1980, 206 с.
- 69.Новиков Г.Р., Салманов Ф.К., Тянь А.В. Перспективы открытия крупных залежей нефти в трещиноватых аргиллитах баженовской свиты// Нефть и газ Тюмени.- 1970.- №7.- С.1-3
- 70.Парпарова Г.М., Неручев С.Г., Жукова А.В. и др. Катагенез и нефтегазоносность. Л.: Недра, 1981, 240 с.
- 71.Плуман И.И. Ураноносность черных битуминозных аргиллитов верхней юры Западно-Сибирской плиты//Геохимия.-1971.-№11, С.1362-1368.
- 72.Плуман И.И., Запывалов Н.П. Условия образования битуминозных аргиллитов волжского яруса Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции//Изв. АН СССР. Серия геологич.- 1977.- №9, С.111-117.
- 73.Промыслово-геофизические исследования залежей нефти баженовского типа / Сб.науч.тр. Под ред. И.И. Нестерова, Тюмень: ЗапСибНИГНИ, 1985, 152 с.
- 74.Сонич В.П., Санин В.П., Плеханова В.Л., Кос И.М., Медведев Н.Я. Особенности строения и нефтеносности отложений баженовской свиты на территории деятельности ОАО «Сургутнефтегаз». Нефть Сургута, М, «Нефтяное хозяйство», 1997 г.
- 75.Страхов Н.М. Основы теории литогенеза. М.: изд. АН СССР, 1962, т. I- 212 с., т. II - 575 с.

- 76.Страхов Н.М. Проблемы геохимии современного океанского литогенеза. М.: Наука, 1976, 300 с.
- 77.Строение и нефтеносность баженитов Западной Сибири / Сб. науч. тр. ЗапСибНИГНИ. Под ред. И.И.Нестерова,/ Тюмень: ЗапСибНИГНИ, 1985, 176 с.
- 78.Ушатинский И.Н. Литология и перспективы нефтегазоносности юрско-неокомских битуминозных отложений Западной Сибири//Сов. геология.- 1981.- №2.- С.11-22.
- 79.Ушатинский И.Н. Литогеохимические показатели нефтеносности баженовского НГК в Красноленинском районе // Использование геохимической информации при прогнозе нефтегазоносности.-Тюмень: ЗапСибНИГНИ, 1996.- С.9-24.
- 80.Ушатинский И.Н., Зарипов О.Г. Минералогические и геохимические показатели нефтегазоносности мезозойских отложений Западно-Сибирской плиты. Свердловск: Средне-Уральское кн. изд-во, 1978, 208 с.
- 81.Ушатинский И.Н., Харин В.С., Гаврилова Л.М. Литологическое строение и вещественный состав юрско-неокомских битуминозных отложений Западной Сибири //Тр. ЗапСибНИГНИ, Тюмень, 1980, вып.157.- С. 39-62.
- 82.Филина С.И., Корж М.В., Зонн М.С. Палеогеография и нефтеносность баженовской свиты Западной Сибири. М.: Наука, 1984, 44 с.
- 83.Хабаров В.В., Барташевич О.В., Нелепченко О.М. Геолого-геофизическая характеристика и нефтеносность битуминозных пород баженовской свиты Западной Сибири. М.: ВИЭМС, 1981, 44 с.
- 84.Хабаров В.В., Стариков В.А., Сонич В.П. и др. Обоснование подсчетных параметров пласта Ю₀ Салымского месторождения методами промысловой геофизики // Проблемы нефтеносности баженовской свиты – М.: ИГиРГИ, 1986.- С.100-110.
- 85.Хабаров В.В.Способ поиска углеводородов в нефтематерианских породах. Пат.2166780.РФ.М.,2001, 6с.

- 86.Хабаров В.В., Нелепченко О.М., Волков Е.Н., Барташевич О.В. Уран, калий и торий в битуминозных породах баженовской свиты Западной Сибири//Сов. геология.- 1980.- №10.- С.94-105.
87. Шпильман В.И., Солопахина Л.А., Пятков В.И. Новая тектоническая карта Центральных районов Западной Сибири.//Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО.-Ханты-Мансийск.- 1999.-С.99-115.
- 88.Щепеткин Ю.В., Рыльков А.В. Радиоактивные элементы в битуминозных отложениях баженовской свиты Западно-Сибирской равнины. Труды ЗапСибНИГНИ, Тюмень, 1980, с.48-54.

A handwritten signature in cursive script, likely belonging to one of the authors mentioned in the bibliography.