

Литология и нефтеносность баженовской свиты в центральной части Мансийской синеклизы

М.А. Фомин^{1*}, Р.М. Саитов^{1,2}, А.Г. Замирайлова¹

¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия

²АО «Геология», Новосибирск, Россия

В статье представлены результаты изучения четырех разрезов баженовской свиты и перекрывающих отложений в центральной части Мансийской синеклизы на основе комплексного анализа результатов лабораторных литолого-геохимических исследований кернового материала и данных широкого набора геофизических исследований скважин (ГИС). Для литологического описания разрез баженовской свиты был разделен на пять пачек, которые отличаются по соотношению содержания углеродистой, глинистой, кремнистой и карбонатной компонент пород. Границы пачек были определены по их литологическому составу, а затем скорректированы с учетом ГИС. Первые две пачки характеризуются повышенными содержаниями кремнистого и глинистого материала, третья – существенным ростом кремнистой составляющей, четвертая – увеличенными концентрациями органического вещества, что указывает на ее более высокий по сравнению с нижней частью разреза нефтегенерационный потенциал. В пятой пачке возрастает содержание карбонатного материала, выделяется «кокколитовый» интервал, отмечаются многочисленные фрагменты двустворок. По всему разрезу баженовской свиты обнаружены минералы (стронцианит, витерит), указывающие на происходившие в диагенезе гидротермальные процессы.

В разрезе одной из изученных скважин в средней части баженовской свиты выделен интервал-коллектор. Отмечена высокая изменчивость коллекторских свойств баженовских пород даже в пределах одного месторождения, что связано с их вторичными преобразованиями пород в диа- и катагенезе. Обосновано, что материалы ГИС без данных, полученных методом ядерного магнитного резонанса, могут использоваться только для выделения возможных продуктивных интервалов. Установить в этих интервалах наличие либо отсутствие коллекторов возможно только на основе изучения их лабораторными методами.

Ключевые слова: баженовская свита, Западная Сибирь, керн, геофизические исследования скважин, литологический состав, коллектор, нефтеносность

Для цитирования: Фомин М.А., Саитов Р.М., Замирайлова А.Г. (2023). Литология и нефтеносность баженовской свиты в центральной части Мансийской синеклизы. *Георесурсы*, 25(4), с. 176–191. <https://doi.org/10.18599/grs.2023.4.20>

Высокоуглеродистая карбонатно-глинисто-кремнистая баженовская свита сформировалась в результате региональной трансгрессии моря в Западно-Сибирском осадочном бассейне в волжском веке (Булынникова и др., 1978; Бладучан и др., 1986; Гурари и др., 1988; Занин и др., 2005; Конторович и др., 2013, 2019а) и распространена на значительной его части, замещаясь в периферийных областях одновозрастными аналогами (Рыжкова и др., 2018). Средняя мощность баженовских пород в центральной части бассейна составляет от 20 до 35 м.

Уже в первые годы изучения баженовской свиты стало очевидно, что она является главной нефтематеринской толщей Западно-Сибирского осадочного бассейна. Революционным для своего времени стало предположение Ф.Г. Гурари (1961) о ее возможной нефтеносности, которое подтвердилось в 1964 г. на территории Правдинской нефтегазоразведочной экспедиции и позднее на других площадях (Новиков и др., 1970).

В связи с возросшим интересом нефтяных компаний к возможностям добычи нефти из этих отложений в последнее десятилетие лавинообразно увеличилось количество работ, посвященных изучению литологического состава и палеогеографии, распределению и составу органического вещества (ОВ), определению петрофизических свойств, выделению коллекторов, а также обоснованию технологий разработки баженовской свиты и ее возрастного аналога нижнетутлеймской подсвиты в центральных районах Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна. Такие исследования ведутся как в научно-исследовательских и отраслевых институтах, так и в научно-технических центрах крупнейших нефтегазовых компаний страны: ПАО «НК «Роснефть», ПАО «Лукойл», ПАО «Газпромнефть», ПАО «Сургутнефтегаз» и их дочерних организациях.

Баженовская свита изучается комплексом методов при плотности отбора образцов каждые 0,2–0,3 м. В результате таких детальных исследований было установлено, что основными породообразующими компонентами свиты являются биогенный кремнезем, карбонатный материал, глинистое вещество, кероген и образовавшийся в диагенезе пирит. Многими специалистами показано, что для этих отложений характерна существенная

* Ответственный автор: Михаил Александрович Фомин
e-mail: FominMA@ipgg.sbras.ru

© 2023 Коллектив авторов

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0
License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

литологическая неоднородность не только по вертикали, но и по латерали – разрезы, находящиеся всего в нескольких десятках километров друг от друга, могут иметь значимые различия в минерально-компонентном составе пород, связанные с локальными палеогеографическими особенностями региона (Панченко и др., 2016; Макарова и др., 2017; Грабовская и др., 2018; Эдер и др., 2019; Фомина и др., 2021; Хотылев и др., 2021) и с процессами вторичного минералообразования в диа- и катагенезе (Предтеченская и др., 2006; Балушкина и др., 2016; Зубков, 2016; Калмыков, Балушкина, 2017; Эдер и др., 2021, 2022).

Во научных публикациях отмечается уникальность геологического строения баженовской свиты, ее высокий потенциал в качестве нефтяного резервуара. Согласно оценкам, выполненным в Институте нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН (ИНГГ СО РАН), в баженовских породах сосредоточено порядка 10–12 млрд т извлекаемых ресурсов нефти (Конторович и др., 2019б). Однако, несмотря на детальное изучение этих отложений, сегодня по-прежнему крайне сложно прогнозировать перспективы их нефтеносности и возможный дебит нефти. Это связано, в первую очередь, с локальными особенностями седиментогенеза и последующими преобразованиями этих пород, которые определяют их литологический состав и коллекторские свойства.

Нами были изучены четыре разреза баженовской свиты на территории Мансийской синеклизы (рис. 1). Несмотря на то что эти отложения в центральной части Западно-Сибирского бассейна исследуются на современном уровне специалистами разных организаций, в открытой печати практически нет результатов изучения разрезов на выбранных нами площадях. Поэтому мы считаем, что представленные в настоящей статье результаты являются актуальными и внесут вклад в понимание процессов

седиментации, последующего преобразования этих черносланцевых отложений и прогноза их нефтеносности.

Цель настоящего исследования – выявить закономерности распространения пород-коллекторов в изученных разрезах баженовской свиты.

Научная задача – на основе комплексного анализа результатов аналитических исследований кернового материала и материалов бурения определить литологический состав баженовской свиты и оценить перспективы нефтеносности этих отложений в изученных разрезах.

Результаты исследования были представлены на международной научной конференции «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология», проходившей в рамках Международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь» в 2022 и 2023 г. в г. Новосибирск.

Фактический материал и методика исследований

Исследование основывается на данных лабораторного изучения 233 образцов керна баженовской свиты и подачимовской толщи, отобранных с шагом 0,2–0,4 м, и результатах интерпретации широкого комплекса геофизических исследований скважин (ГИС). В скв. М-1 образцами охарактеризован весь разрез, в скв. М-3 – нижняя часть разреза, а в скв. М-4 – верхняя часть разреза баженовской свиты. В скв. М-2 изучены образцы из верхней и средней частей разреза.

Химический анализ пород с определением основных породообразующих компонентов (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , MnO , K_2O , Na_2O , P_2O_5 , BaO) выполнен методом РФА на рентгенофлуоресцентном спектрометре ARL-9900-XP (Thermo Electron Corporation) в лаборатории

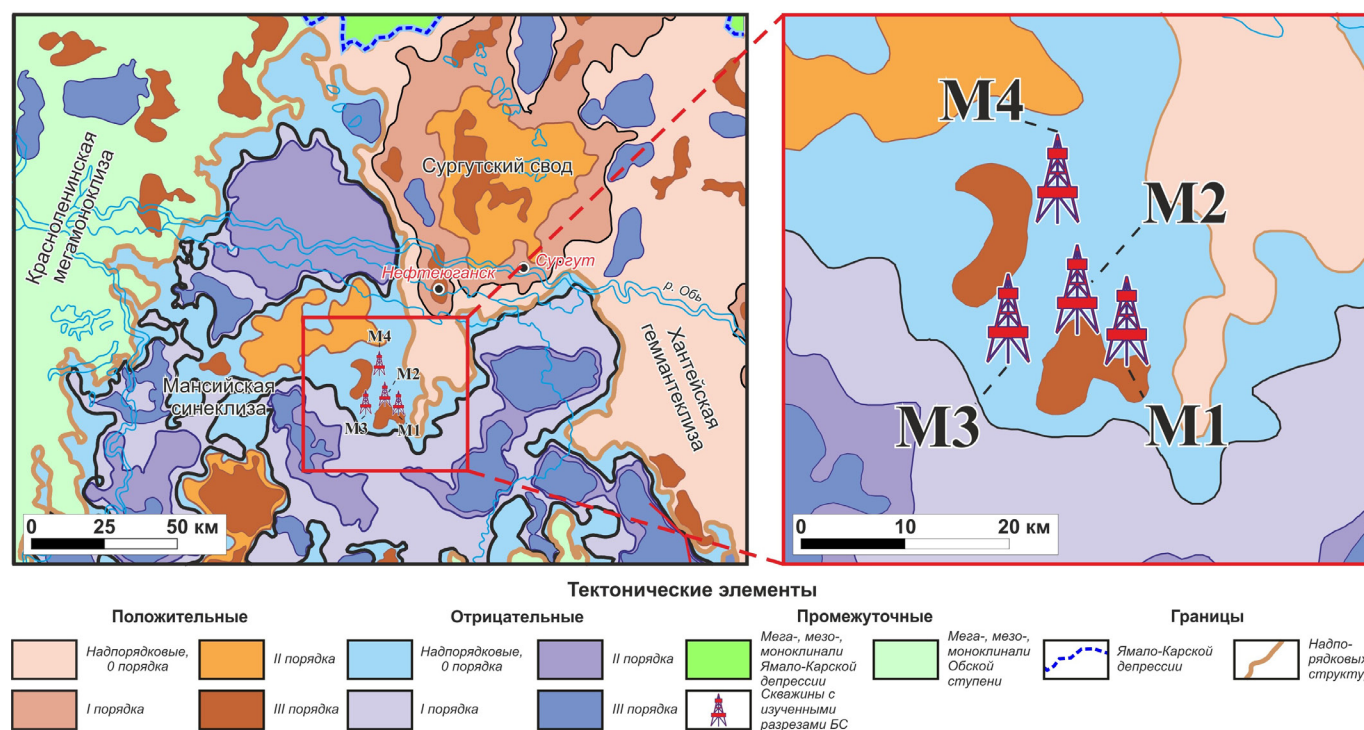


Рис. 1. Обзорная карта района работ. Фрагмент тектонической карты по кровле юрского структурного яруса (Конторович и др., 2001)

рентгено-спектральных методов анализа «Центра коллективного пользования научным оборудованием много-элементных и изотопных исследований СО РАН» (ЦКП МИИ СО РАН). Анализ содержания в породах серы сульфидной, сульфатной и форм железа выполнен химическими методами в лаборатории изотопно-аналитической геохимии ЦКП МИИ СО РАН.

Концентрации ОБ в образцах рассчитывали на основе современных содержаний органического углерода, определенных по результатам пиролитических исследований образцов. Они выполнены в лаборатории геохимии нефти и газа ИНГТ СО РАН на пиролизаторе Source Rock Analyzer (SRA, Weatherford Laboratories) в режиме TPH-TOC (Total Petroleum Hydrocarbon – Total Organic Carbon).

Критериями для выделения нефтенасыщенных интервалов являлись следующие пиролитические показатели:

- высокий индекс продуктивности $PI = S_1/(S_1 + S_2)$, изменяющийся от 0,2 до 0,4 отн. ед. (параметр S_1 (мг УВ/г породы) – количество свободных углеводородов, выделившихся при нагреве до 300 °C; параметр S_2 (мг УВ/г породы) – количество углеводородов, выделившихся в результате высокотемпературной (300–650 °C) деструкции органического вещества);
- соотношение параметров S_1/TOC , превышающее 1 (TOC (% мас.) – общее содержание органического углерода в породе);
- высокие значения параметра S_1 , превышающие 10 мг УВ/г породы.

На основе указанных выше результатов аналитических исследований нами проведен пересчет химического состава пород на минеральный по методике (Розен и др., 2000). По результатам пересчета каждому образцу присвоено литологическое название согласно классификации, разработанной в ИНГТ СО РАН (Конторович и др., 2016). Нам известны и другие классификации литологических разностей баженовской свиты (Калмыков, Балушкина, 2017; Грабовская и др., 2018; Немова, 2019), в которых кремнистый, глинистый, карбонатный материал и кероген также являются основными порообразующими компонентами.

Изучение текстурно-минералогических особенностей пород осуществлялось с помощью метода поляризационной микроскопии (Olympus BX51). Петрографические исследования были направлены на уточнение морфологии основных компонентов пород, а также на определение аутигенных минералов (пирит и др.), форм нахождения ОБ и др. Шлифы изготовлены в Центре геологических коллекций ИНГТ СО РАН.

Определение количественного содержания (спектры) различных химических элементов, изучение форм нахождения минеральных агрегатов, в т.ч. установление наличия в породах реликтов известковых нанофоссилий (кокколитофорид), двустворок, радиолярий, проводили на электронном сканирующем микроскопе MIRA 3 LMU (Tescan Ltd) с системами микроанализа Aztec Energy/ INCA Energy 450+ XMax 50+ и Inca Wave 500 (Oxford Instruments Ltd) в лаборатории рентгено-спектральных методов анализа ЦКП МИИ СО РАН. Выполнен количественный и качественный электронно-зондовый микроанализ, получены электронные изображения высокого разрешения.

Для определения окислительно-восстановительных условий образования пород использовали значения степени пиритизации железа (СП) (Berner, Raiswell, 1983), которые рассчитывались по формуле: $СП = Fe_{\text{пир}}/(Fe_{\text{пир}} + Fe_{\text{реактив}})$. Принято, что значения $СП < 0,45$ характеризуют окислительные условия, $0,45–0,75$ – промежуточные, $СП > 0,75$ – высоко-восстановительные. Для установления соотношения биохемойной к терригенной составляющей использовалось отношение SiO_2/Al_2O_3 . В рассматриваемых отложениях содержание мелкоалевритового материала обычно не превышает 5%. Таким образом, кремнистый материал в баженовской свите рассматривается как преимущественно биохемойный, а глинистый – как терригенный.

Определение открытой пористости ($K_{\text{п}}$) пород выполняли по методике GRI, модифицированной для высокоуглеродистых карбонатно-глинисто-кремнистых образцов баженовской свиты (Горшков, Саитов, 2023). Согласно этой методике осуществляли расчет газонасыщенной (в состоянии естественной насыщенности) и открытой (после экстракции и последующей сушки) пористости образцов на основе объемной и минералогической плотностей. Важным преимуществом модифицированной методики является определение объемной плотности двумя независимыми друг от друга способами (газоволюметрически на фрагментах полноразмерного керна и модифицированным методом жидкостенасыщения на дезинтегрированных образцах). Далее производили расчет среднего значения. Минералогическую плотность определяли на основе газоволюметрического метода. Признаками интервалов-коллекторов являлись повышенные значения газонасыщенной и открытой пористости, значительно превышающие средние (Методические рекомендации по подсчету запасов нефти..., 2021).

Широкое комплексирование методов определяется значительной изменчивостью литологического состава пород баженовской свиты как по разрезу, так и по площади и является необходимым, поскольку по отдельности ни один из методов не дает полного и объективного представления о свойствах пород.

Комплекс ГИС в рассматриваемых скважинах представлен диаграммами электрического (БК – боковой каротаж, БКЗ (зонды Gz1, Gz2, Gz3, Gz4), ПС – потенциал самопроизвольной поляризации, МБК, МПЗ, МГЗ – микрозонды, РЗ – потенциал зонд), радиоактивного (ГК – гамма-каротаж, НКГ – нейтронный гамма-каротаж, НКГб и НКГм – нейтронный каротаж по тепловым нейтронам (большой и малый зонды), ГГК-П – гамма-гамма плотностной каротаж, W – кривая водородосодержания, рассчитанная от значений нейтронных методов каротажа) и электромагнитного (ИК – индукционный каротаж, ВИКИЗ) каротажа, а также каверномером. Сопоставление результатов аналитических исследований керна и материалов ГИС выполнено в российском программном пакете GeoOffice Solver, разработанном специалистами ОАО «НПЦ «Тверьгеофизика».

Литологический состав

Стратиграфический диапазон баженовской свиты долгое время определялся как ранне-поздневолжский. При этом считалось, что верхняя граница свиты в северных

районах Западно-Сибирского осадочного бассейна заходит в нижнюю часть нижнего валанжина (Решения V Межведомственного регионального стратиграфического совещания..., 1991; Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири..., 2000; Решение 6-го Межведомственного стратиграфического совещания..., 2004). На основе более детального изучения этих отложений в последние годы обосновывается омоложение (до раннего валанжина) верхней границы свиты в центральных и юго-восточных частях бассейна (Панченко и др., 2016, 2021; Эдер и др., 2022). В этих работах убедительно доказано, что возраст баженовской свиты для изученных нами разрезов следует принимать как ранневолжско-ранневаланжинский.

С точки зрения палеогеографии изученные разрезы расположены в пределах наиболее глубоководной зоны волжского моря (Конторович и др., 2013). Для литологической характеристики разрез баженовской свиты был разделен на пять пачек, которые отличаются по соотношению содержаний углеродистой, глинистой, кремнистой и карбонатной компонент пород. Ранее подобное выделение было предложено в работе (Панченко и др., 2016), где переходный уровень между баженовской свитой и подачимовской толщей мощностью первые метры с содержанием ОВ 2–10% и высокими концентрациями пирита, выделен в 6-ю пачку. Нами этот литологический интервал отнесен к низам подачимовской толщи.

Для разреза скв. М-1 характерен практически полный вынос зерна (за исключением верхних 1–1,5 м), это позволило выделить здесь границы пачек, опираясь на их литологический состав с последующей корректировкой

по ГИС. В разрезах М-2, М-3 и М-4 в интервалах, не охарактеризованных керновым материалом, границы пачек были установлены на основе их ГИС-образов в скв. М-1.

Первые две пачки характеризуются повышенными для баженовской свиты содержаниями глинистых минералов (в среднем 25%). В пачке 3 существенно увеличивается роль кремнезема в разрезе (в среднем 65%). В пачках 4 и 5 наблюдается рост концентраций ОВ (в среднем от 13% до 17,5%). Это подтверждает сделанные ранее многими специалистами заключения, что верхняя половина разреза обладает более высоким нефтегенерационным потенциалом, чем нижняя. В средней части пачки 5 отмечается высокое содержание карбонатного материала.

Ниже приводится подробное литологическое описание баженовской свиты (снизу вверх по разрезу) в изученных разрезах. Средние содержания основных породообразующих компонентов в пачках и различных литотипах приведены в табл. 1 и 2. Пирит в виде стяжений неправильной формы распространен по всему разрезу свиты. Показатели степени пиритизации в баженовской свите изменяются от 0,74 до 0,97, что указывает на высоко-восстановительные условия формирования пород, которые способствуют сохранению ОВ в осадке.

Пачка 1 в изученных разрезах имеет мощность от 4,3 м до 5,6 м. В ее основании залегают микститы кероген-глинисто-кремнистые. В верхней половине пачки увеличивается количество карбонатного материала (до 25–28%), что позволяет выделить здесь микститы карбонатно-кремнистые (рис. 2А) и кремнисто-глинисто-карбонатные (рис. 2Б).

Свита, толща	Пачки	Слои	Кол-во обр-ов, шт.	Кремн. матер., %	Глин. матер., %	Карб. матер., %	ПШ, %	ОВ, %	Пирит, %
Подачимовская		–	18	19,39	47,24	4,30	12,96	6,31	9,79
	5	5с	9	14,53	23,35	20,06	8,36	17,46	16,23
		5b	19	21,86	9,61	39,75	7,42	12,54	8,83
Баженовская		5a	30	42,27	14,07	8,55	7,96	17,47	9,67
	4	–	14	53,24	12,15	1,17	7,69	17,48	8,30
		3b	26	75,67	8,50	1,20	3,46	7,27	3,91
	3	3a	21	54,42	18,21	1,33	6,78	13,32	5,94
		–	23	42,85	24,15	6,92	6,77	13,15	6,16
	2	–	20	40,23	25,61	9,51	8,41	10,73	5,53

Табл. 1. Среднее содержание основных породообразующих компонентов в пачках и слоях баженовской свиты и перекрывающих отложений

Литотип	Кол-во обр-ов, шт	Кремн. матер., %	Глин. матер., %	Карб. матер., %	ПШ, %	ОВ, %	Пирит, %
Аргиллиты	6	13,44	57,87	1,12	12,35	5,50	8,77
Микститы глинистые и кероген-глинистые	14	19,04	40,84	6,27	11,91	8,96	12,30
Микстит керогеновый	4	14,27	19,22	8,58	8,80	25,59	22,33
Известняки керогеновые, карбонаты, доломиты	11	10,81	5,70	63,53	4,74	7,88	6,85
Микститы кероген-карбонатно-кремнистые	13	27,40	14,85	29,56	7,53	11,68	8,15
Микститы кероген-кремнистые	36	40,24	15,71	7,62	8,65	17,13	9,61
Микститы кероген-глинисто-кремнистые	33	40,18	28,91	3,43	8,48	12,31	5,99
Силициты керогеновые	45	57,42	13,72	1,48	6,36	14,31	6,25
Силициты	18	80,11	6,53	1,60	2,72	5,46	3,03

Табл. 2. Среднее содержание основных породообразующих компонентов в различных литотипах баженовской свиты и перекрывающих отложений

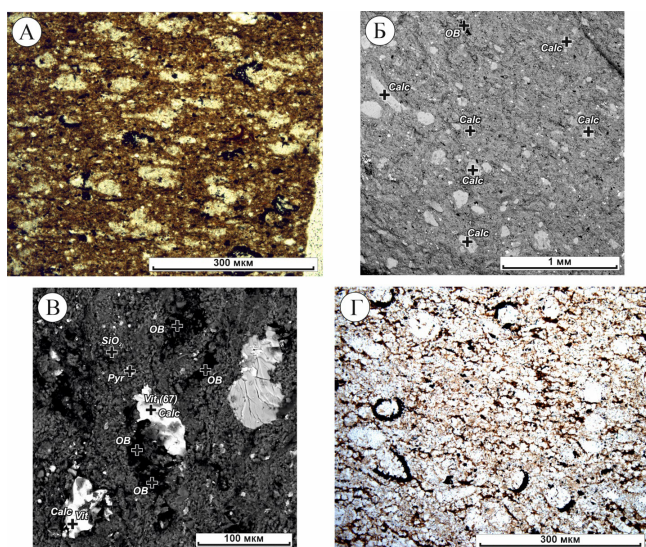


Рис. 2. А – микстит карбонатно-кремнистый с реликтами радиолярий, выполненными карбонатным материалом (||), М-3, гл. 2969,24 м; Б – микстит кремнисто-глинисто-карбонатный, М-1, гл. 2950,06 м; В – витерит в парагенезисе с кальцитом в микстите кероген-глинисто-кремнистом, М-1, гл. 2946,93 м; Г – доломит мелкокристаллический, апордиоляритовый (||), М-1, гл. 2945,44 м. Названия минералов на фотографиях: OB – органическое вещество, Calc – кальцит, Dol – доломит, Pyr – пирит, Kal FS – калиевый полевой шпат, Musk – мусковит, Kaol – каолинит, Vit – витерит, Str – стронцианит, Sph – сфалерит, Apat – апатит, Bar – барит, Goet – гётит, SiO₂ – микрокристаллический кремнезём

Встречаются обломки скелетов рыб, фрагменты раковин двустворок размером 0,01–1,10 мм, пиритизированные радиолярии конусообразной и округлой форм, пустотное пространство внутри которых занято раскристаллизованным кремнистым, карбонатным либо глинистым материалом. Отмечены редкие микрокристаллы барита, витерита, сфалерита. Кроме того, в разрезах этой пачки встречаются единичные прослои силицитов керогеновых. Средние содержания основных породообразующих компонентов приведены в табл. 1. Значения отношения $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ варьируются от 5,41 до 9,32. Низкие значения этого показателя получены для отдельных образцов верхней части пачки, они связаны с существенным уменьшением в разрезе содержания кремнистого материала и ростом концентраций карбонатных минералов.

Нижележащие породы в изученных разрезах образцами практически не описаны. В скв. М-3 самый нижний образец относится к переходной зоне между баженовскими и абалакскими отложениями. Для него характерны увеличение общей плотности пород, в первую очередь за счет практически полного исчезновения в разрезе органического вещества, и рост количества глинистых минералов.

На каротажных диаграммах пачка 1 представлена более высокими относительно подстилающей абалакской свиты значениями бокового каротажа и низкими показателями индукционного каротажа (рис. 3–6). Отмечаются локальные увеличения естественной радиоактивности пород, связанные с повышенными концентрациями OB (15–18%) в породах. В целом, значения ГК плавно возрастают снизу вверх по разрезу, меняясь от 14 до 30 мкР/ч.

Запись нейтронного каротажа спокойная; небольшой рост значений наблюдается в верхней части пачки и связан с увеличением в разрезе карбонатной составляющей. Форма кривой ГТК-П ровная, повышенные значения связаны с более кремнистыми и карбонатными интервалами разреза.

Подосва баженовской свиты на каротажных диаграммах проводилась по увеличению (сверху вниз по разрезу) значений индукционного и плотностного каротажа, уменьшению естественной радиоактивности и электрического сопротивления горных пород и появлению амплитудных значений каверномера.

Пачка 2 по литологическому составу близка к первой и имеет мощность от 5,3 до 6,2 м. Ее нижняя часть представлена микститами кероген-глинисто-кремнистыми. В одном из разрезов в верхней половине пачки возрастает содержание кремнистого материала (до 60%), что позволяет наряду с вышеуказанными микститами выделить здесь силициты керогеновые. В преимущественно кремнистых породах встречаются обломки скелетов рыб, по некоторым из них развиты кальцит и витерит; мелкие обломки раковин двустворок. Во всех типах пород наблюдаются реликты радиолярий округлой и конусообразной формы, внутреннее пространство которых выполнено доломитом, глинисто-кремнистым материалом, керогеном, кальцитом, которые оконтурены кремнезёмом либо пиритом. Встречается карбонат бария (витерит) в парагенезисе с кальцитом (рис. 2В).

В средней части пачки залегает карбонатный прослой толщиной не более 1 м. В одном разрезе он представлен микститом кероген-карбонатно-кремнистым, в другом – доломитом (содержание доломитового материала 72%) мелкокристаллическим массивным, иногда апордиоляриевым (рис. 2Г). Значения отношения $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ в образцах нижней части пачки 2 аналогичные первой, однако в ее верхней части они увеличиваются за счет сокращения в разрезе глинистой компоненты, что указывает на уменьшение влияния терригенной седиментации.

Пачка 2 имеет практически те же самые физические свойства, что и пачка 1. В ее разрезе незначительно увеличиваются концентрации OB (до 15%), в результате чего возрастают естественная радиоактивность и электрическое сопротивление пород и уменьшается их плотность. Карбонатный прослой в средней части пачки уверенно отображается на диаграммах ГТК-П и НКТ резким увеличением значений, полученных с помощью этих методов; на кривой ГК, наоборот, отмечается локальный минимум (рис. 3–6).

Пачка 3 отличается от нижележащих пород меньшим содержанием глинистого материала (табл. 1). Вверх по разрезу пачки наблюдаются увеличение концентраций кремнистого материала и сокращение содержания глинистых минералов, что подтверждается и отношением $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, значение которого повышается до 15, а в отдельных образцах превышает 27. Пачка состоит из двух литологически разных слоев, граница между которыми проводится по резкому увеличению в разрезе кремнистого материала. Присутствие высококремнистых пород в средней части разреза баженовской свиты отмечалось еще на ранних стадиях ее изучения (Ушатицкий, 1981; Нестеров, 1985; Сараев, 1987; Гурари и др., 1988).

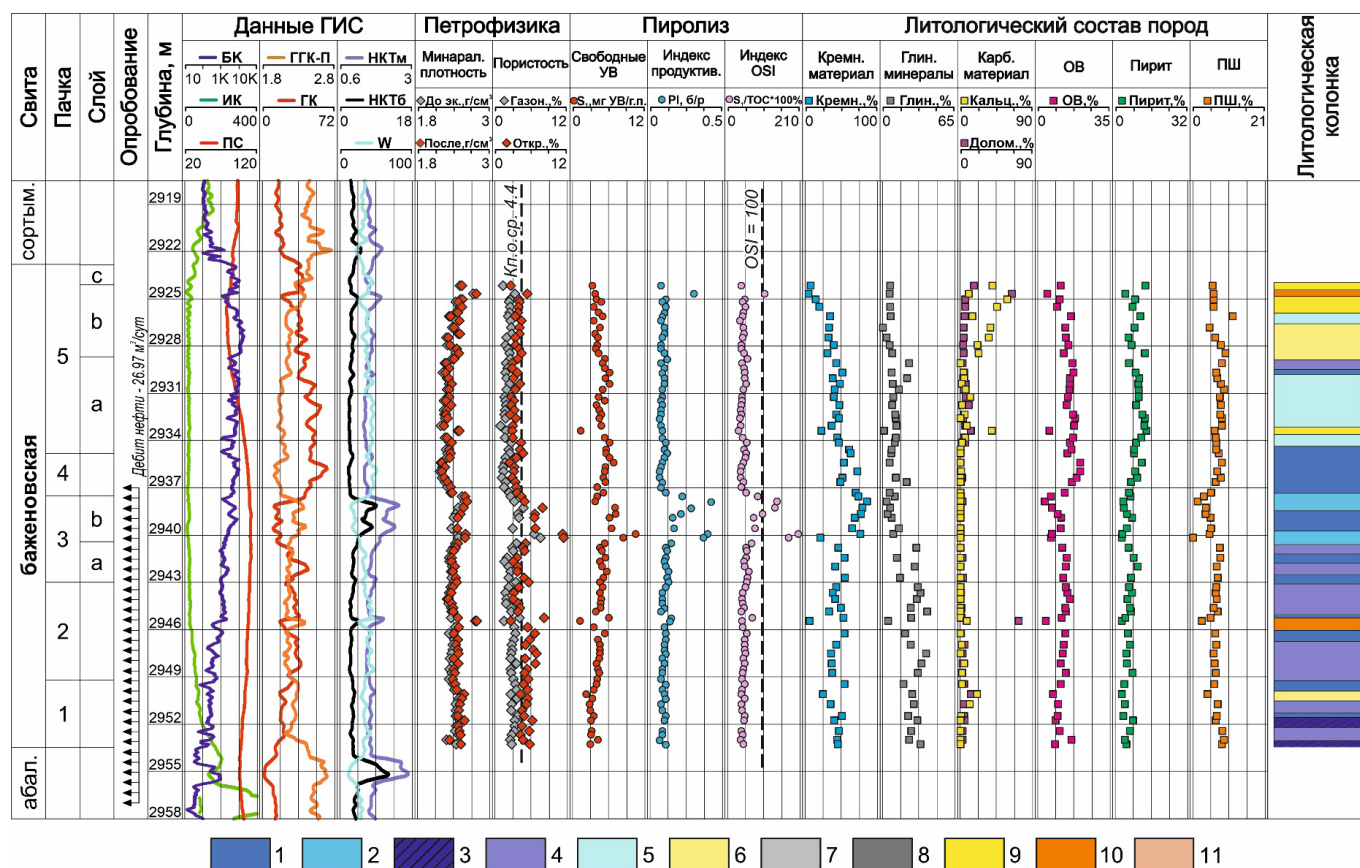


Рис. 3. Геолого-геофизический планшет по скв. М-1: 1 – силицит керогеновый, 2 – силицит, 3 – микстит глинисто-кремнистый, 4 – микстит кероген-глинисто-кремнистый, 5 – микстит кероген-кремнистый, 6 – микстит кероген-кремнисто-карбонатный, 7 – микстит кероген-глинистый, 8 – аргиллит, 9 – известняк, 10 – доломит, 11 – микстит керогеновый. Названия пород приведены в соответствии с (Конторович и др., 2016)

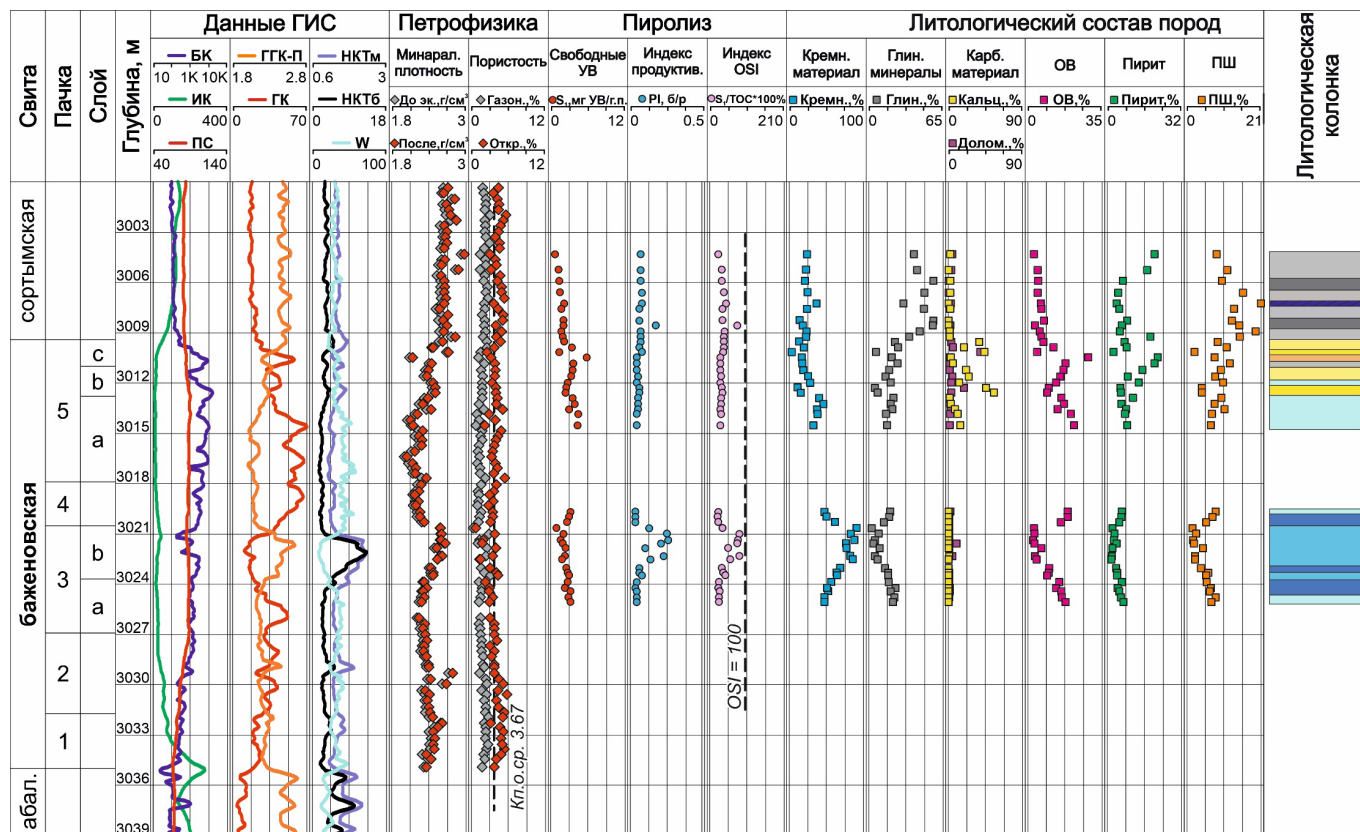


Рис. 4. Геолого-геофизический планшет по скв. М-2. Условные обозначения см. на рис. 3

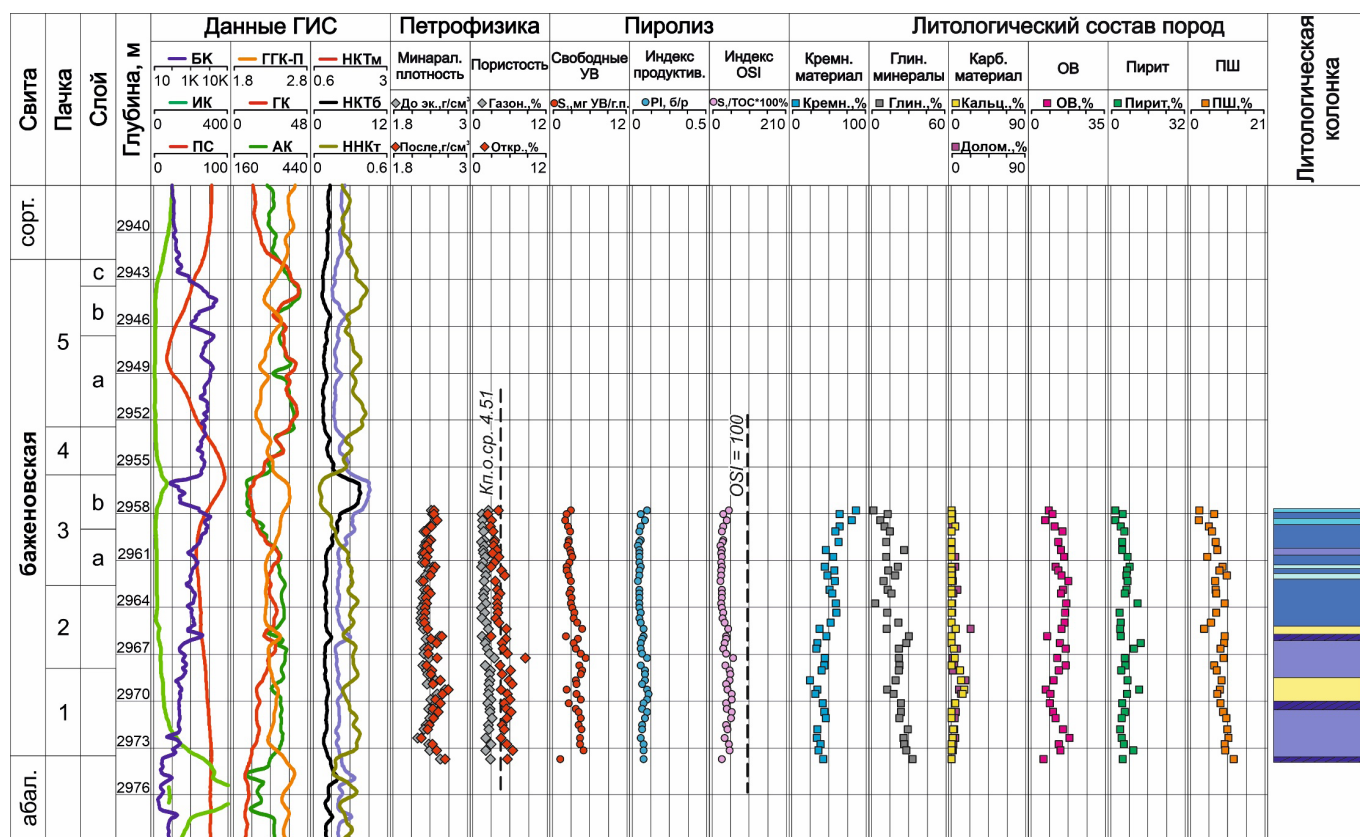


Рис. 5. Геолого-геофизический планшет по скв. М-3. Условные обозначения см. на рис. 3

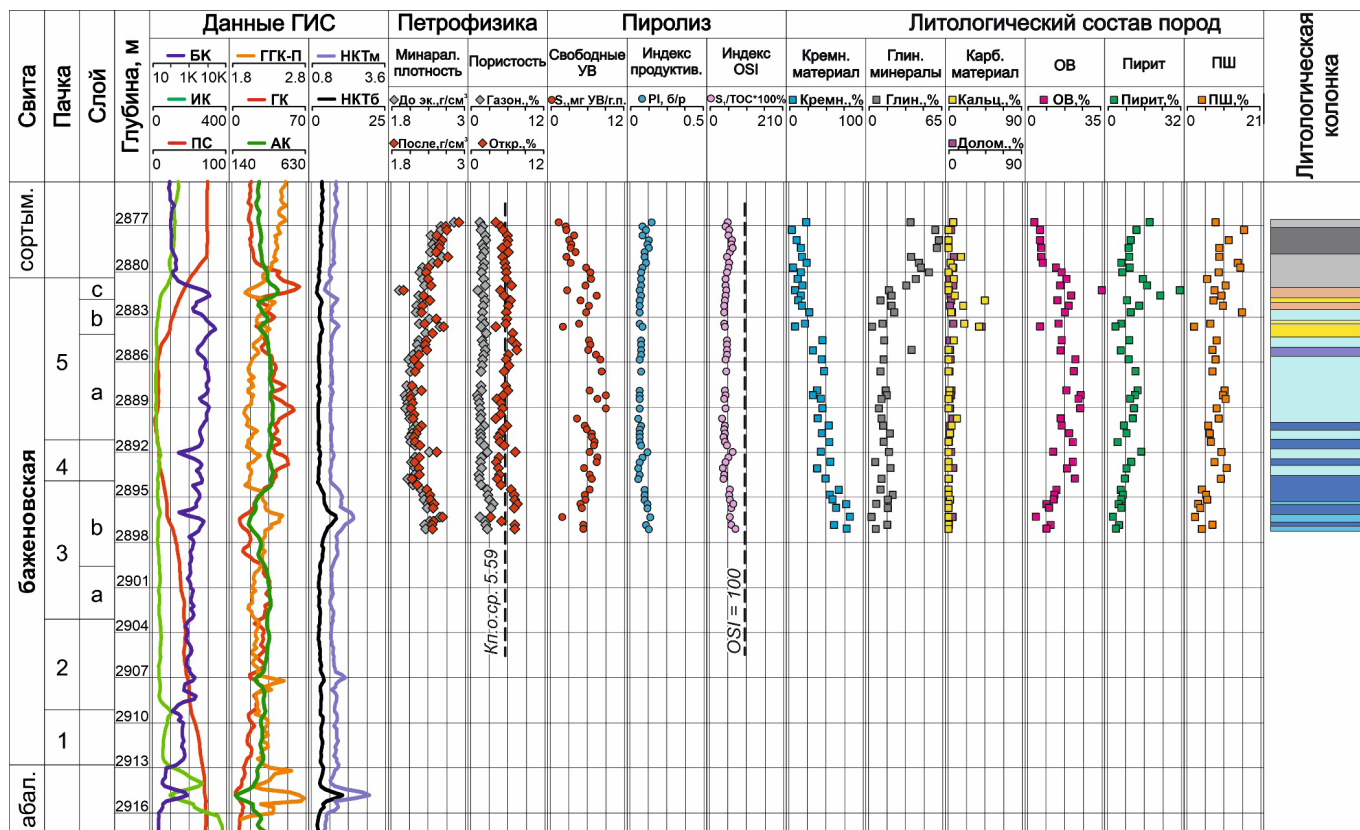


Рис. 6. Геолого-геофизический планшет по скв. М-4. Условные обозначения см. на рис. 3

Слой 3а представлен силицитами керогеновыми с прослоями микститов кероген-глинисто-кремнистых и кероген-кремнистых. В породе встречаются многочисленные прослои (3–5 мм) реликтов радиолярий конусообразной формы, заполненные глинисто-кремнистым веществом и оконтуренные кремнистым материалом.

Найдены обломки скелетов рыб бурого цвета шириной до 0,7 мм и длиной до 2 мм. Некоторые из них частично замещены кальцитом. В отдельных образцах отмечаются многочисленные микрокристаллы барита. Мощность слоя 3а в изученных разрезах меняется от 2 до 3,5 м. На каротажных диаграммах слой 3а имеет близкие с пачкой 2 свойства, отличаясь несколько повышенным электрическим сопротивлением и естественной радиоактивностью пород.

Слой 3б отличается от выше- и нижезалегающих пород существенным увеличением (до 90%) в образцах содержания кремнистого материала и уменьшением до первых процентов концентраций ОВ. Слой представлен силицитами, в том числе керогеновыми, а также силицитами-радиоляритами – породами, на 60–70% сложенными реликтами радиолярий округлой и конусообразной форм (рис. 7А). Они заполнены кремнистым и кремнисто-глинистым материалом, некоторые оконтурены пиритом либо кальцитом. Найдены обломки скелетов рыб удлиненной формы бурого цвета, а также редкие микрокристаллы барита и сфалерита. В средней и нижней частях слоя найдены скопления стронцианита в парагенезисе с витеритом по остаткам ОВ (рис. 7Б) либо в виде жилок (рис. 7В, Г), имеющих, вероятно, гидротермальную природу (Зубков, 2018).

Мощность слоя 3б достигает 5 м. На каротажных диаграммах он характеризуется резким увеличением значений плотностного и нейтронных видов каротажа, снижением естественной радиоактивности пород и времени пробега акустической волны, что характерно для плотных интервалов с низким содержанием ОВ (рис. 3–6). Верхняя граница пачки 3 проводится по уменьшению в разрезе кремнистой составляющей и существенному росту концентраций ОВ.

С пачки 4 начинается верхняя, наиболее углеродистая, часть разреза баженовской свиты. Литологически этот интервал достаточно однороден и представлен силицитами керогеновыми и микститами кероген-кремнистыми. По сравнению с пачками 1–3 характеризуется существенным увеличением средних концентраций ОВ, в среднем до 17,5% (табл. 1), в отдельных образцах они достигают 20–22%. Основным породообразующим компонентом по-прежнему является кремнистый материал, представленный в скрытокристаллической форме. Наблюдаются обломки скелетов рыб бурого цвета, в т.ч. крупные, до 2–3 мм.

В отдельных образцах в верхней половине пачки встречаются прослои раскристаллизованных реликтов радиолярий (50–60%) округлой и конусообразной формы. Они заполнены микрокристаллическим кремнистым и карбонатным материалом, некоторые из них оконтурены пиритом. В этой же части разреза пачки были найдены единичные остатки кокколитофорид.

Встречаются редкие прослои, отличающиеся повышенным до 17–19% содержанием глинистого материала.

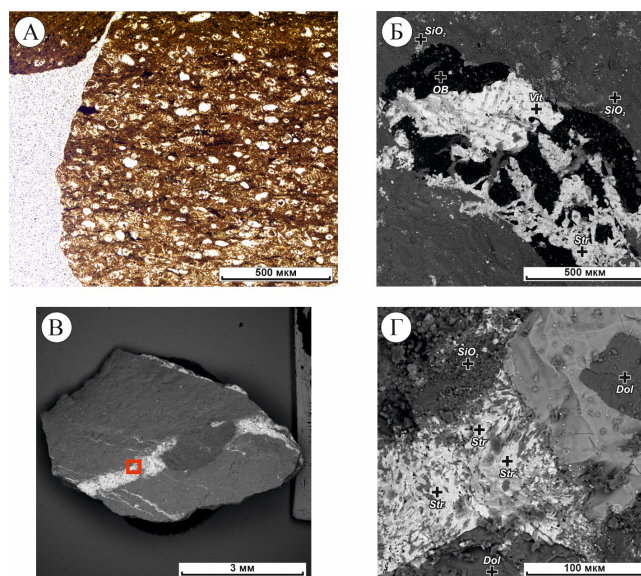


Рис. 7. А – силицит-радиолярит, М-4, гл. 2897,06 м; Б – вите- рит в парагенезисе с кальцитом в силиците, М-2, гл. 3021,53 м; В, Г – прослой стронцианита в силиците, М-2, гл. 3022,29 м. Названия минералов на фотографиях см. на рис. 2

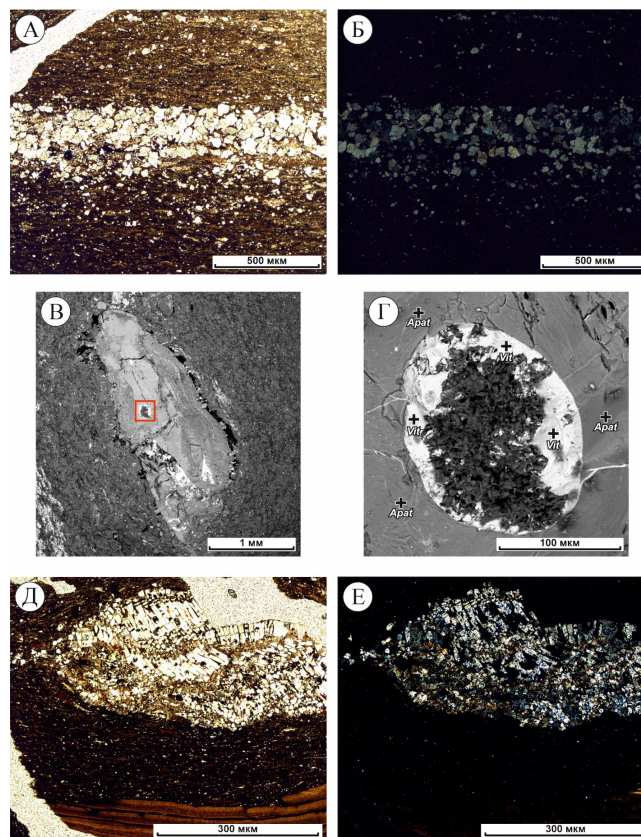


Рис. 8. А, Б – прослой карбонатного материала в микстите кероген кремнистом (В ||, Г ×), М-4, гл. 2891,92 м; В, Г – фраг- менты костей рыб, претерпевшие гидротермальные преобра- зования, М-1, гл. 2931,72 м; Д, Е – фрагменты двустворок в микстите кероген-кремнистом (Д ||, Е ×), М-4, гл. 2888,18 м. Названия минералов на фотографиях см. на рис. 2

В нижней половине пачки обнаружены единичные про- слои карбонатного материала (рис. 8А, Б), предположи- тельно фрагменты двустворок. В образцах обнаружены скопления микрокристаллов сфалерита, а также единич- ные конкреции апатита. Значения отношения $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$

для пород этой пачки по сравнению с величинами пачки 4 понижены и составляют 8,07–16,22, что связано с существенным уменьшением в разрезе кремнистого материала и незначительным ростом концентраций глинистых минералов (табл. 1).

Мощность пачки 4 в изученных разрезах меняется от 2,6 до 4,8 м. В связи с увеличением в разрезе концентраций ОБ на каротажных кривых эти отложения характеризуются значительным увеличением естественной радиоактивности и электрического сопротивления, уменьшением плотности и ростом значений акустического каротажа (рис. 3–6). В верхней части пачки фиксируется локальный пик повышенных значений нейтронных видов каротажа, связанный с высококремнистым (до 62% содержания кремнезема) интервалом разреза.

В перекрывающих пачку 4 отложениях возрастает содержание карбонатного материала, что, вероятно, свидетельствует о смене биогенной кремниевой седиментации на карбонатно-кремнистую. Аргументированное обсуждение этой чрезвычайно интересной проблемы приведено в работе (Эдер и др., 2022).

Пачка 5 завершает разрез баженовской свиты. Она разделяется на три слоя, которые имеют различный литологический состав. Нижний слой, 5а, сложен высокоуглеродистыми, преимущественно кремнистыми породами. Слой 5b выделяется в разрезе по преобладанию в составе карбонатного материала, в основном кальцита. В слой 5с объединены высокоуглеродистые, сильно пиритизированные породы. Общая толщина пачки 5 в изученных разрезах изменяется от 8,2 до 11,9 м. Мощность выделенных слоев внутри нее варьирует достаточно сильно, что связано с локальными палеогеографическими условиями седиментации.

Слой 5а характеризуется несколько меньшим по сравнению с пачкой 4 содержанием кремнистого материала, увеличением до 18% концентрации карбонатных минералов, и представлен в основном микститами кероген-кремнистыми. Содержание ОБ в них меняется от 14 до 25%, в среднем составляя 18%. В средней части слоя обнаружены многочисленные скелеты радиолярий различной степени сохранности. Большая их часть раскристаллизована, пустотное пространство заполнено керогеном, глинистым, кремнистым либо карбонатным материалом, иногда крупными кристаллами пирита. Выше и ниже по разрезу в границах слоя количество радиолярий уменьшается до единичных находок. Обнаружены редкие фрагменты двустворок. Встречаются многочисленные обломки скелетов рыб бурого цвета, участками известковистые. Некоторые из них претерпели вторичные преобразования: внутри образовались линзы глинистого материала, окаймленные витеритом (рис. 8В, Г), редкие микрокристаллы стронцианита. Такие образования могут иметь гидротермальную природу (Зубков, 2016). Наблюдаются скопления микрокристаллов барита (до 300 мкм), витерита (до 250 мкм), не связанные с ОБ, сфелерита (> 300 мкм). По всему слою встречены фрагменты двустворок размером до 1 мм (рис. 8Д, Е). В изученных разрезах в слое 5а практически в каждом образце обнаружены как отдельные фрагменты, так и прослои двустворок, что указывает на увеличение аэрации придонных вод в связи с поступлениями арктических водных масс (Захаров, 2006).

В прикровельной части слоя отмечается повышенная глинистость разреза, суммарное содержание глинистых минералов достигает 25%, что позволяет выделить здесь тонкие прослои микститов кероген-кремнисто-глинистых, содержащих обломки двустворок. В нижней части слоя в разрезе скв. М-1 выделяется карбонатная линза мощностью первые десятки сантиметров, в которой встречены многочисленные фрагменты раковин двустворок. Отмечаются микрокристаллы витерита в парагенезисе с кальцитом.

На каротажных диаграммах слой 5а выделяется высокими показателями естественной радиоактивности и электрического сопротивления и относительно пониженными значениями плотностного каротажа. В верхней части слоя отмечается локальный пик на кривых нейтронных видов каротажа, отвечающий повышенным содержаниям в разрезе кремнистого материала.

Слой 5b уверенно выделяется в разрезе по существенному увеличению карбонатного материала. Этот уровень представлен известняками, в т.ч. керогеновыми, породами с примерно равным содержанием кальцитового и доломитового материала, которые в настоящей статье названы «карбонатами», различными микститами

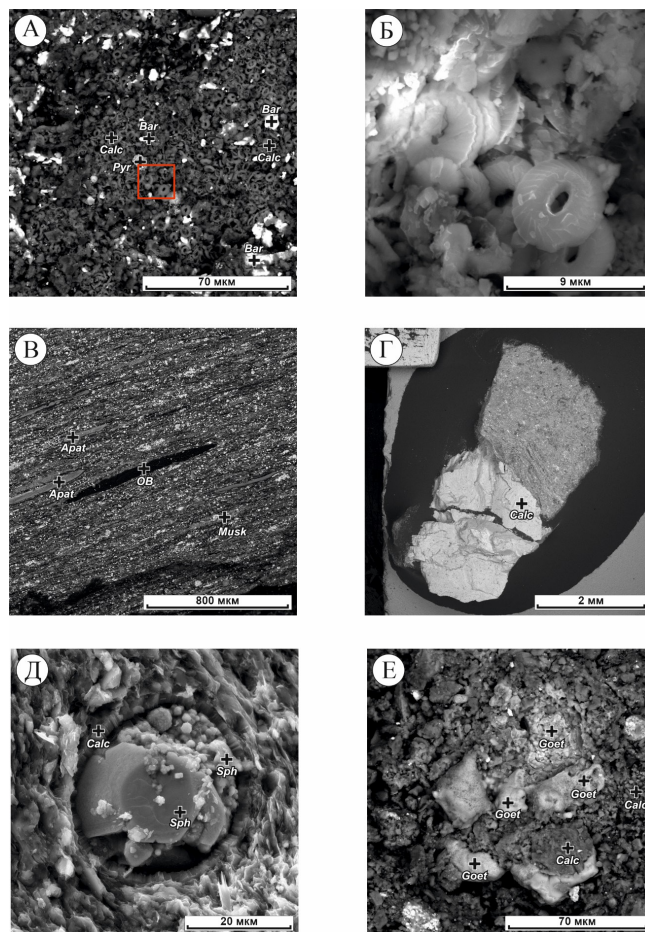


Рис. 9. А, Б – кокколитофориды в доломите, М-1, гл. 2924,64 м; В – Фрагменты органического вещества в микстите керогеном, М-2, гл. 3010,43 м; Г – граница известняка и микстита кероген-карбонатно-глинистого, М-2, гл. 3009,85 м; Д – сфалерит в «карбонатной скорлупе» в аргиллите, М-2, гл. 3008,24 м; Е – гётит в аргиллите, М-2, гл. 3008,88 м. Названия минералов на фотографиях см. на рис. 2

с преобладанием керогена, кремнистого и карбонатного материала. Мощность слоя меняется от 1,8 до 4,6 м.

Основными породообразующими организмами этого слоя являются кокколитофоридовые водоросли (рис. 9А, Б). Подробным изучением реликтов кокколитофорид в баженовской свите занимались В.Н. Векшина (1962а, 1962б), Г.С. Ясович и М.Д. Поплавская (1975), Ю.Н. Занин с соавторами (Zanin et al., 2012). В шлифах текстура этих пород массивная (редко) либо линзовидно-слоистая. Встречены редкие обломки скелетов рыб бурого цвета вытянутой формы; их длина достигает 2 мм. Некоторые из них по краям замещены кальцитом. Наблюдаются прослои с раскристаллизованными радиоляриями (до 9–10%) округлой формы, выполненными микрокристаллическим кремнеземом, доломитом, керогеном, полевыми шпатами, пиритом. В породе наблюдаются прослои и обломки раковин двустворок толщиной до 1 мм и длиной 3–4 мм. Часто встречаются участки развития сфалерита. Наблюдаются скопления витерита в парагenezе с кальцитом, в т.ч. жильной формы. Обнаружены многочисленные скопления барита в виде отдельных микрокристаллов и сфалерита (20–30 мкм), полей (150–200 мкм) и сфалерита, развитых по фрагментам рыбного детрита, а также в виде тонких жилок. По результатам анализа образцов на сканирующем электронном микроскопе мы предполагаем, что в большинстве случаев эти жилки имеют гидротермальную, а в некоторых – техногенную природу.

В центральной части этого карбонатного уровня в виде тонкого (0,3–0,4 м) прослоя залегают микститы кероген-кремнистые. Эти породы встречены во всех изученных разрезах. Они содержат редкие фрагменты радиолярий, выполненные внутри кремнеземом, а также линзы этого материала. Кокколитофорид в них не обнаружено.

В связи с преобладанием в составе карбонатного материала и уменьшением концентраций ОВ для слоя 5b на каротажных диаграммах характерны пониженные значения естественной радиоактивности и повышенные показатели плотностного и нейтронных видов каротажа.

Слой 5с завершает разрез баженовской свиты. Его общая мощность в изученных скважинах не превышает 1,5 м. Нижняя половина слоя представлена микститами керогеновыми с содержанием ОВ более 22%. Отмечаются повышенные концентрации пирита (22–31%), связанные с ОВ (Гурари, Матвиенко, 1980, Филина и др., 1984; Зубков, 2016; Эдер, 2020). Органическое вещество представлено в основном фрагментами скелетов рыб бурого цвета, в т.ч. крупными. Обычно они залегают параллельно напластованию (рис. 9В), но иногда встречаются крупные обломки, захороненные поперек общей слоистости. Обнаружены скопления сфалерита, развитые по этим костным остаткам. Часто в таких крупных обломках встречаются линзочки и жилки раскристаллизованного глинистого материала.

Верхняя половина слоя является переходной к выше лежащей подачимовской толще. В разрезе скв. М-4 она имеет преимущественно глинистый состав и сложена микститами кероген-глинистыми. Содержание глинистых минералов достигает 30–40%, в них отмечаются повышенные концентрации титана. В разрезе скв. М-2 в верхней части слоя 5с отмечается существенное

увеличение карбонатного материала. Основная масса этих пород представлена известняком (рис. 9Г) и доломитом с подчиненным содержанием глинистого и кремнистого материала. Ввиду повышенной концентрации ОВ слой 5с на каротажных диаграммах выделяется резким пиком на кривой ГК, локальным минимумом на кривых плотностного и нейтронных видов каротажа, а также повышенными значениями электрического сопротивления.

Граница баженовской свиты с вышележащими отложениями проведена по уменьшению до 5–7% в разрезе концентраций ОВ, увеличению до 30% доли глинистого материала, а также полевых шпатов. На каротажных диаграммах эти изменения литологического состава характеризуются ростом плотности пород, уменьшением их естественной радиоактивности и электрического сопротивления.

Значения отношения $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ в слое 5а пачки 5 примерно такие же, как в пачке 4. В слое 5b они изменяются от 4,13 до 8,18, а в слое 5с уменьшаются в среднем до 3,5, что указывает на постепенное снижение в разрезе концентраций биохомогенного кремнезема и увеличение роли глинистого материала.

Нижняя часть подачимовской толщи представлена микститами глинистыми и аргиллитами. Содержание глинистого материала в этих породах варьирует от 30% до 62%. Средние концентрации кремнистого материала составляют 20%, керогена – 6,5% (табл. 1). Встречаются редкие фрагменты не до конца преобразованного органического материала, костей рыб. Пирит чаще всего залегают между слоями глинистого материала в виде глобул. Обнаружены единичные фрагменты пиритизированных скелетов радиолярий. Встречаются единичные зерна сфалерита в карбонатных конкрециях (рис. 9Д). Найдены единичные скопления гётита (рис. 9Е), образованные в результате окисления пирита. Отношение $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ в породах подачимовской пачки уменьшается до 3, что указывает на существенное увеличение роли глинистого материала в разрезе.

Подачимовская толща накапливалась в условиях постепенной регрессии моря и проградации береговой линии в направлении к центральной части Западно-Сибирского бассейна (Конторович и др., 2014), поэтому в разрезах наблюдается уменьшение до первых процентов концентраций ОВ и существенный рост глинистой составляющей (до 65%). В нижней части подачимовской толщи значения степени пиритизации железа меняются от 0,66 до 0,85, что говорит о смене высоко-восстановительных условий седиментогенеза, характерных для баженовской свиты, на умеренно восстановительные обстановки.

Нефтеносность

Органическое вещество баженовской свиты – аквагенное (II тип керогена, $\text{HI} = 200\text{--}530$ мг УВ/г ТОС), находится в главной зоне нефтеобразования – градация катагенеза MK_1^2 ($R_{\text{vt}}^0 = 0,73\text{--}0,84\%$). Значения T_{max} в большей части образцов (77% коллекции) изменяется от 440 °С до 444 °С. Как уже отмечено выше, основным нефтегенерирующим интервалом баженовской свиты является верхняя часть разреза. В этих породах пиролитический показатель S_1 не превышает 6,7 мг УВ/г породы, S_2 достигает 82,8 мг УВ/г породы, $\text{PI} < 0,1$ отн. ед.).

В скв. М-1 в результате испытаний из интервала глубин 2937–2957 м получен приток нефти дебитом 26,97 м³/сут (рис. 3). В разрезе этой скважины на глубинах 2937,5–2940,2 м залегают силициты (SiO_2 до 88%) и силициты керогеновые, существенно отличающиеся от выше- и нижележащих пород высокими значениями индекса продуктивности $PI = 0,2\text{--}0,4$ отн. ед. Открытая пористость ($K_{п.о.}$) этих пород превышает 11%. В этом интервале глубин также отмечается некоторое занижение показателей катагенетической преобразованности ОВ: значения $T_{\max}$ варьируют в пределах 436–442 °С, $R_v^o = 0,68\text{--}0,79\%$, что указывает на процессы миграции УВ флюидов. Содержание органического углерода (ТОС) изменяются от 2,5% до 8,5% на породу, S_1 – от 3,5 до 10,5 мг УВ/г породы. Значение OSI ($S_1/C_{орг} \cdot 100\%$) для 5 образцов превышает 100%.

Образцы с максимальными значениями открытой пористости (11,2% и 11,3%) были подвергнуты холодной экстракции, после чего из них были изготовлены шлифы. В результате петрографического изучения этих образцов установлено в них наличие скелетов радиолярий (до 30%), причем наблюдается лишь кремнистый контур скелетов, в то время как их внутренняя структура разрушена. Это могло произойти в результате частичного выщелачивания кремнезема щелочными растворами, образовавшимися в начале катагенеза в процессе дегидратации глинистых минералов (Немова, 2012). Пустотное пространство внутри радиолярий не заполнено минеральными компонентами, в т.ч. керогеном (рис. 10А, Б), что позволяет предполагать, что именно оно и являетсяместищем для нефтяных углеводородов. Таким образом, в скв. М-1 в средней части разреза баженовской свиты выделяется интервал-коллектор, связанный прослоем силицитов-радиоляритов.

В рядом расположенных скважинах М-2 и М-4 средней части разреза баженовской свиты также выделяется интервал плотных высококремнистых пород, однако признаков коллектора в нем не зафиксировано. Значения индекса продуктивности PI в целом не превышают 0,1 отн. ед., в единичных образцах достигая 0,24–0,27 отн. ед. Содержание ТОС меняется от 3,5% до 9% на породу, S_1 – от 1,5 до 5,5 мг УВ/г породы. Значение OSI лишь в одном образце достигает значения 72%, во всех остальных не превышает 55–60%. Открытая пористость не превышает 5%. В этих высококремнистых интервалах также присутствуют прослои радиолярий, однако они, как правило, раскристаллизованы, а их внутреннее пространство заполнено глинисто-кремнистым материалом или ОВ (рис. 10В–Е). Зачастую это приводит к значительному ухудшению емкостных свойств пород, вплоть до практически полного их исчезновения ($K_{п.о.}$ 0,6% в образце скв. М-2, гл. 3020,63 м). В разрезе скв. М-3 этот высококремнистый интервал практически не охарактеризован керновым материалом, поэтому оценить его коллекторские свойства не представляется возможным.

Согласно (Временное методическое руководство по подсчету запасов..., 2017; Методические рекомендации по подсчету запасов..., 2021), карбонатные и фосфоритовые породы баженовской свиты также могут являться коллекторами. Эти прослои обладают хорошими фильтрационно-емкостными свойствами на Красноленинском

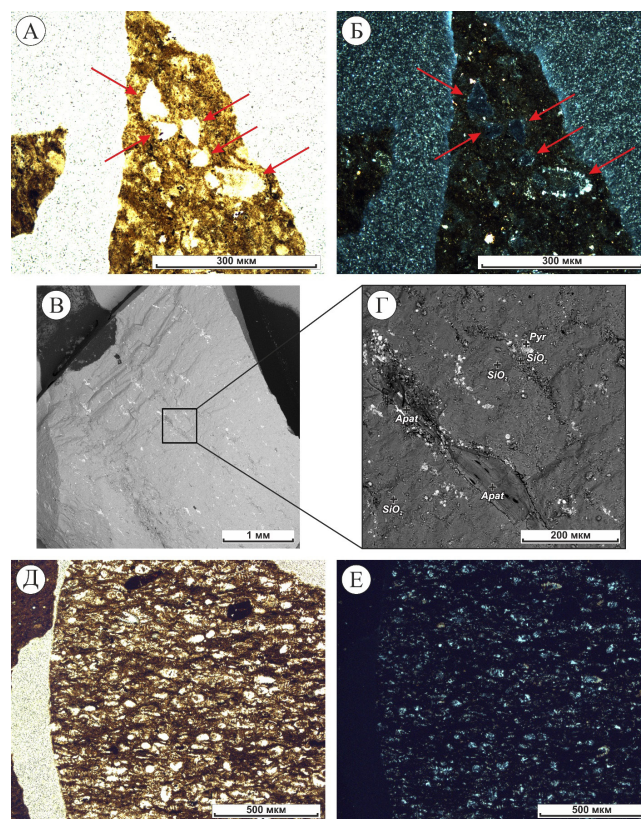


Рис. 10. Радиолярии в силицитах-радиоляритах слоя 3b: А, Б – пустотное пространство радиолярий (образец после экстракции; SiO_2 84,9%, ОВ 4,7%, $K_{п.о.}$ 11,3%), не заполненное минеральными компонентами и способное вмещать нефтяные углеводороды (А ||, Б ×), М-1, гл. 2940,14 м; В–Е – радиолярии практически полностью раскристаллизованные, заполненные глинисто-кремнистым веществом (SiO_2 82,3%, ОВ 4,9%, $K_{п.о.}$ 3,0%), (Д ||, Е ×). В, Г – М-2, гл. 3020,63 м; Д, Е – М-3, гл. 2958,41 м. Названия минералов на фотографиях см. на рис. 2

своде (Фомина и др., 2021). В изученных разрезах породы с повышенным содержанием P_2O_5 встречаются в приподшенной части свиты, а также в виде отдельных линз в верхней части разреза. Карбонатные породы (иногда доломитизированные), как уже было указано выше, слагают верхнюю часть свиты, а также встречаются по всему разрезу в виде линз и прослоев. В ходе петрофизических и пиролитических исследований признаков подвижной нефти в таких породах не зафиксировано.

В одном из образцов в верхней части разреза скважины М-1 отмечается повышенное значения индекса продуктивности $PI = 0,3$ отн. ед, что является одним из значимых признаков коллектора. Этот образец представлен почти на 75% карбонатным материалом, содержание $C_{орг}$ около 3,5%. Открытая пористость после экстракции около 5%. Однако значение S_1 является фоновым и не превышает 3,5 мг УВ/г породы. Именно этим объясняется такой высокий показатель PI . Таким образом, этот образец нельзя считать коллектором.

Во всех изученных разрезах описанный выше высококремнистый интервал в средней части баженовской свиты на каротажных кривых характеризуется минимальными значениями ГК, повышенными показаниями БК, ГГК-П и НКТ, т.е. качественные признаки по ГИС у этих пород одинаковые, однако в одном случае они являются

коллектором, а в другом – нет. Единственным видом каротажа, который может использоваться при прогнозе коллекторов баженовской свиты, является метод ядерного магнитного резонанса (ЯМР). К сожалению, для изученных скважин таких данных нет. Поэтому прогноз коллекторов баженовской свиты только по данным комплекса каротажа, не включающего ЯМР, не является достоверным. Такие материалы ГИС могут использоваться лишь для выделения и межскважинной корреляции возможных продуктивных интервалов, изучение керн лабораторными методами в комплексе с испытаниями на приток, позволит установить в них наличие свободной нефти или зафиксировать ее отсутствие.

К северо-западу от изученных разрезов, на Салымском месторождении, основной продуктивный интервал связан с корреляционным слоем, приуроченный к верхам абалакской и низам баженовской свиты. Он представлен известняками, доломитами и смешанными известково-доломитовыми породами (Белкин и др., 1983). Так как приточный интервал в скв. М-1 охватывает и верхи абалакской свиты, возможно, эта часть разреза также является продуктивной. Однако она не охарактеризована керновым материалом, поэтому установить это точно не представляется возможным.

Заключение

На основе анализа фактического материала показано, что нижняя часть (пачки 1–2) разреза баженовской свиты в центральной части Мансийской синеклизы представлена микститами кероген-глинисто-кремнистыми с единичными прослоями двустворок. В пачке 2 несколько увеличивается содержание органического и кремнистого вещества. В пачке 3 силициты частично представлены силицитами-радиоляритами (биоморфными), где радиолярии встречаются в виде прослоев, заключенных в глинисто-кремнистый материал. Пачка 4 сложена силицитами керогеновыми (содержание ОВ достигает 20–22%, в среднем составляя 17,5%) скрытокристаллическими (абиоморфными) с равномерным распределением рассеянного в породе скрытокристаллического кремнезема или с линзами аутигенного кремнезема. Верхняя часть разреза (пачка 5) представлена высокоуглеродистыми микститами кероген-кремнистыми (слой 5а), микститами кероген-карбонатно-кремнистыми, где основными породообразующими организмами являлись кокколитофоровые водоросли (слой 5б), и микститами керогеновыми (слой 5с). В слоях 5а и 5б помимо радиолярий отмечаются многочисленные прослои двустворок. На различных уровнях разреза встречены минералы (стронцианит, витерит), указывающие на происходившие в диагенезе гидротермальные процессы.

По степени пиритизации железа установлено, что во время накопления баженовской свиты в бассейне существовали высоко-восстановительные условия. Вышележащие отложения подачимовской толщи формировались в умеренно восстановительных обстановках в условиях проградации береговой линии и значительного увеличения интенсивности привноса терригенного материала.

В разрезе скв. М-1 выделен интервал-коллектор, представленный силицитами-радиоляритами, залегающими в средней части баженовской свиты. Эти породы

характеризуются высокой открытой пористостью и наличием подвижной нефти, подтвержденной притоком. На основе результатов аналитических исследований керн показано, что на расстоянии в 15–20 км этот высококремнистый интервал не обладает коллекторскими свойствами. Доказано, что это связано с вторичными преобразованиями этих пород, приведшими к заполнению пустотного пространства кремнистыми и глинистыми минералами. Обосновано, что материалы ГИС, не имеющие в своем составе данных ЯМР, могут использоваться только для выделения возможных продуктивных интервалов, изучение которых лабораторными методами позволит установить в них наличие либо отсутствие коллекторов.

В заключение отметим следующее. Изучаемая территория по всем региональным критериям является самой перспективной в Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции с точки зрения нефтеносности баженовской свиты (Контарович и др., 2019б). Однако интервал-коллектор выделяется в разрезе только одной скважины из трех (в скв. М-3 он практически не охарактеризован керновым материалом), при этом имеет незначительную мощность – 2,7 м. Очевидно и без количественной оценки, что запасы нефти в таких «бакенноподобных» коллекторах будут невелики. Для того, чтобы баженовская свита стала основным нефтяным резервом страны, необходимо разработать технологии разведки и добычи углеводородов и из высокоуглеродистых пород верхней и нижней частей разреза, которые сегодня рассматриваются, как правило, только в качестве нефтегенерирующих интервалов.

Благодарности/Финансирование

Авторы благодарны директору АО «Геологика» к.г.-м.н. С.В. Парначеву за помощь в получении геолого-геофизического материала для настоящего исследования. Авторы признательны специалистам ИНГГ СО РАН (к.г.-м.н. К.В. Долженко, И.Н. Сериков), АО «Геологика» (Е.Д. Поджарова, С.С. Семенов, С.Л. Медников) и ИГМ СО РАН (Н.Г. Карманова, Л.М. Горчукова, И.М. Фоминых) за качественно выполненные лабораторные исследования кернового материала.

Анализ химического и минерально-компонентного состава пород баженовской свиты выполнен в рамках работы по проекту FWZZ-2022-0007 Программы ФНИ. Анализ пиролитических характеристик органического вещества произведен в рамках работы по проекту FWZZ-2022-0011 Программы ФНИ. Комплексный анализ всех результатов аналитических исследований кернового материала и данных ГИС с целью выделения коллекторов в разрезе баженовской свиты выполнен в рамках работы по проекту FWZZ-2022-0012 Программы ФНИ.

Литература

- Балушкина Н.С., Юрченко А.Ю., Калмыков Г.А., Коробова Н.И., Петракова Н.Н., Бугаев И.А. (2016). Условия образования и нефтенасыщенность карбонатных пород баженовской и абалакской свит. *Нефтяное хозяйство*, 1, с. 32–25.
- Белкин В.И., Ефремов В.П., Каптелин Н.Р. (1983). Модель коллекторов нефти баженовской свиты. *Нефтяное хозяйство*, 10, с. 27–31.
- Брадучан Ю.В., Гольберт А.В., Гурари Ф.Г., Захаров В.А., Булыникова С.П., Климова И.Г., Месежников М.С., Вячкилева Н.П., Козлова Г.Э., Лебедев А.И., Нальняева Т.И., Турбина А.С. (1986). Баженовский горизонт Западной Сибири (стратиграфия, палеогеография, экосистема, нефтеносность). Новосибирск: Наука, 217 с.

- Булынникова С.П., Гольберт А.В., Климова И.Г., Конторович А.Э., Полякова И.Д., Решетникова М.А., Турбина А.С. (1978). Палеобифаци нефтегазоносных волжских и неокомских отложений Западно-Сибирской плиты. М.: Недра, 86 с.
- Векшина В.Н. (1962а). Кокколитофориды марьяновской формации Западно-Сибирской плиты. *Материалы по палеонтологии и стратиграфии Западной Сибири*, с. 101–103.
- Векшина В.Н. (1962б). Элементы палеогеографии мезозоя и палеогена Западно-Сибирской низменности по данным анализа диатомовых водорослей, кокколитофорид. *Материалы по палеонтологии и стратиграфии Западной Сибири*, с. 103–108.
- Временное методическое руководство по подсчету запасов нефти в трещиноватых и трещинно-поровых коллекторах в отложениях баженовской толщи Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции (2017). *Недропользование XXI век*, 4, с. 70–100.
- Горшков А.М., Сайтов Р.М. (2023). Методика определения пористости и насыщенности сланцевых пород на дезинтегрированном керне. *Нефтяное хозяйство*, 1, с. 6–12. <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2023-1-6-12>
- Грабовская Ф.Р., Жуков В.В., Заграновская Д.Е. (2018). Строение и условия формирования баженовского горизонта Пальмовской площади Западной Сибири. *Литология и полезные ископаемые*, 3, с. 195–206. <https://doi.org/10.1134/S0024490218030021>
- Гурари Ф.Г. (1961). О поисках нефти и газа в мезозое Западно-Сибирской низменности. *Тр. СНИИГТИМС*, 17, с. 15–31.
- Гурари Ф.Г., Матвиенко Н.И. (1980). Палеогеография баженовской свиты по распространению в ней урана. *Тр. СНИИГТИМС*, 275, с. 81–91.
- Гурари Ф.Г., Вайц Э.Я., Меленевский В.Н., Москвин В.И., Перозин Г.Н., Предтеченская Е.А., Рудницкая Д.И., Стасова О.Ф., Фролов В.Х., Фролова Л.А. (1988). Условия формирования и методика поисков залежей нефти в аргиллитах баженовской свиты. М.: Недра, 200 с.
- Занин Ю.Н., Замирайлова А.Г., Эдер В.Г. (2005). Некоторые аспекты формирования баженовской свиты в центральных районах Западно-Сибирского осадочного бассейна. *Литосфера*, 4, с. 118–135.
- Захаров В.А. (2006). Условия формирования волжско-берриасской высокоуглеродистой баженовской свиты Западной Сибири по данным палеоэкологии. *Эволюция биосферы и биоразнообразия*, с. 552–568.
- Зубков М.Ю. (2016). Региональный и локальный прогнозы нефтеносности баженовской и абалакской свит (Западная Сибирь). *Горные ведомости*, 3–4, с. 46–68.
- Зубков М.Ю. (2018). Связь битуминизации баженовской свиты с гидротермальными процессами (Западная Сибирь). *Горные ведомости*, 6, с. 6–24.
- Калмыков Г.А., Балушкина Н.С. (2017). Модель нефтенасыщенности порового пространства пород баженовской свиты Западной Сибири и ее использование для оценки ресурсного потенциала. М.: ГЕОС, 246 с.
- Конторович А.Э., Конторович В.А., Рыжкова С.В., Шурыгин Б.Н., Вакуленко Л.Г., Гайдебурова Е.А., Данилова В.П., Казаненков В.А., Ким Н.С., Костырева Е.А., Москвин В.И., Ян П.А. (2013). Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в юрском периоде. *Геология и геофизика*, 54(8), с. 972–1012. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2013.07.002>
- Конторович А.Э., Ершов С.В., Казаненков В.А., Карогодин Ю.Н., Конторович В.А., Лебедева Н.К., Никитенко Б.Л., Попова Н.И., Шурыгин Б.Н. (2014). Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в меловом периоде. *Геология и геофизика*, 55(5–6), с. 745–776. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2014.05.005>
- Конторович А.Э., Ян П.А., Замирайлова А.Г., Костырева Е.А., Эдер В.Г. (2016). Классификация пород баженовской свиты. *Геология и геофизика*, 57(11), с. 2034–2043. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2016.10.006>
- Конторович А.Э., Бурштейн Л.М., Никитенко Б.Л., Рыжкова С.В., Борисов Е.В., Ершов С.В., Костырева Е.А., Конторович В.А., Нехаев А.Ю., Пономарева Е.В., Фомин М.А., Ян П.А. (2019а). Маргинальный фильтр волжско-раннеберриасского морского бассейна и его влияние на распределение осадков. *Литология и полезные ископаемые*, 3, с. 199–210. <https://doi.org/10.31857/S0024-497X20193199-210>
- Конторович А.Э., Бурштейн Л.М., Лившиц В.Р., Рыжкова С.В. (2019б). Главные направления развития нефтяного комплекса России в первой половине XXI века. *Вестник Российской Академии наук*, 89, 11, с. 1095–1104. <https://doi.org/10.1134/S101933161906008X>
- Конторович В.А., Беляев С.Ю., Конторович А.Э., Красавчиков В.О., Конторович А.А., Супруненко О.И. (2001). Тектоническое строение и история тектонического развития Западно-Сибирской геосинеклизы в мезозое и кайнозое. *Геология и геофизика*, 42(11–12), с. 1832–1845.
- Макарова О.М., Коробова Н.И., Калмыков А.Г., Калмыков Г.А., Балушкина Н.С., Белохин В.С., Козлова Е.В., Косоруков В.Л., Мануилова Е.А. (2017). Основные типы пород баженовской свиты на Сургутском своде и сопредельных территориях. *Георесурсы*, 2, с. 155–164. <https://doi.org/10.18599/grs.19.16>
- Методические рекомендации по подсчету запасов нефти в отложениях баженовского горизонта Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции (2021). 19 с.
- Немова В.Д. (2012). Условия формирования коллекторов в отложениях баженовского горизонта в районе сочленения Красноленинского свода и Фроловской мегавпадины. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*, 7(2).
- Немова В.Д. (2019). Многоуровневая литологическая типизация пород баженовской свиты. *Нефтяное хозяйство*, 8, с. 13–17. <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2019-8-13-17>
- Нестеров И.И. (1985). Нефтегазоносность глинистых битуминозных пород. Строение и нефтегазоносность баженинов Западной Сибири. Тюмень, с. 3–19.
- Новиков Г.Р., Салманов Ф.К., Тянь А.В. (1970). Перспективы открытия крупных залежей нефти в трещиноватых аргиллитах баженовской свиты. *Научно-технический сборник «Нефть и газ Тюмени»*, 7, с. 1–3.
- Панченко И.В., Немова В.Д., Смирнова М.Е., Ильина М.В., Барабошкин Е.Ю., Ильин В.С. (2016). Стратификация и детальная корреляция баженовского горизонта в центральной части Западной Сибири по данным литолого-палеонтологического изучения керна и ГИС. *Геология нефти и газа*, 6, с. 22–34.
- Панченко И.В., Соболев И.Д., Рогов М.А., Латышев А.В. (2021). Вулканические туфы и туффиты в пограничных отложениях юры и мела (волжский-рязанский ярусы) Западной Сибири. *Литология и полезные ископаемые*, 2, с. 144–183. DOI: 10.31857/S0024497X21020051
- Предтеченская Е.А., Кроль Л.А., Гурари Ф.Г., Сапьяник В.В., Перозин Г.Н., Малюшко Л.Д. (2006). О генезисе карбонатов в составе баженовской свиты центральных и юго-восточных районов Западно-Сибирской плиты. *Литосфера*, 4, с. 131–148.
- Решения V Межведомственного регионального стратиграфического совещания по мезозойским отложениям Западно-Сибирской равнины (1991). Тюмень, 54 с.
- Решение 6-го Межведомственного стратиграфического совещания по рассмотрению и принятию уточненных стратиграфических схем мезозойских отложений Западной Сибири (2004). Новосибирск, СНИИГТИМС, ИГНГ СО РАН, 114 с.
- Розен О.М., Аббясов А.А., Мигдисов А.А., Ярошевский А.А. (2000). Программа MINLITH для расчета минерального состава осадочных пород: достоверность результатов в применении к отложениям древних платформ. *Геохимия*, 4, с. 431–444.
- Рыжкова С.В., Бурштейн Л.М., Ершов С.В., Казаненков В.А., Конторович А.Э., Конторович В.А., Нехаев А.Ю., Никитенко Б.Л., Фомин М.А., Шурыгин Б.Н., Бейзель А.Л., Борисов Е.В., Золотова О.В., Калинин Л.М., Пономарева Е.В. (2018). Баженовский горизонт Западной Сибири: строение, корреляция и толщины. *Геология и геофизика*, 59(7), с. 1053–1074. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2018.07.009>
- Сараев С.В. (1987). Петрохимический метод в изучении минерального состава пород баженовской свиты Западной Сибири. *Геология и геофизика*, 10, с. 33–38.
- Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Юрская система (2000). Под ред. А.Э. Конторовича. Новосибирск: СО РАН, филиал «ГЕО», 480 с.
- Ушатинский И.Н. (1981). Литология и перспективы нефтеносности юрско-неоконских битуминозных отложений Западной Сибири. *Советская геология*, 2, с. 11–22.
- Филина С.И., Корж М.В., Зонн М.С. (1984). Палеогеография и нефтеносность баженовской свиты Западной Сибири. М.: Наука, 36 с.
- Фомина М.М., Балушкина Н.С., Хотылев О.В., Калмыков А.Г., Богатырева И.Я., Калмыков Г.А., Реуцкая И.О., Романенко С.А., Топчий М.С., Алехин А.А. (2021). Выделение потенциально-продуктивных интервалов тутлеймской свиты центральной части Красноленинского свода и др. *Георесурсы*, 23(2), с. 132–141. <https://doi.org/10.18599/grs.2021.2.13>
- Хотылев О.В., Гатовский Ю.А., Балушкина Н.С., Коточкова Ю.А., Коробова Н.И., Фомина М.М., Карпова Е.В., Калмыков Г.А. (2021). Модели седиментации баженовской свисоуголеродистой формации в зоне развития тутлеймской и баженовской свит. *Георесурсы*, 23(2), с. 120–131. <https://doi.org/10.18599/grs.2021.2.11>
- Эдер В.Г. (2020). Пиритизация пород зон перехода черносланцевой толщи к вмещающим отложениям на примере баженовской свиты Западной Сибири. *Литология и полезные ископаемые*, 58(3), с. 257–271. DOI: 10.31857/S0024497X20030027
- Эдер В.Г., Балушкина Н.С., Замирайлова А.Г., Фомин А.Н. (2021). Литолого-геохимические свидетельства катагенетических преобразований черных сланцев на примере баженовской свиты Западной Сибири.

Вестник Московского университета. Серия 4: Геология, 1, с. 58–70. <https://doi.org/10.3103/S0145875221020022>

Эдер В.Г., Костырева Е.А., Юрченко А.Ю., Балушкина Н.С., Сотнич И.С., Козлова Е.В., Замирайлова А.Г., Савченко Н.И. (2019). Новые данные о литологии, органической геохимии и условиях формирования баженовской свиты Западной Сибири. *Георесурсы*, 21(2), с. 129–142. <https://doi.org/10.18599/grs.2019.2.129-142>

Эдер В.Г., Рыжкова С.В., Дзюба О.С., Замирайлова А.Г. (2022). Литостратиграфия и обстановки седиментации баженовской свиты (Западная Сибирь) в центральном, юго-восточном и северном районах ее распространения. *Стратиграфия. Геологическая корреляция*, 30(5), с. 46–74. <https://doi.org/10.1134/S0869593822050021>

Ясович Г.С., Поплавская М.Д. (1975). К стратиграфии битуминозных отложений верхней юры и неокма Западно-Сибирской равнины. *Материалы по геологии нефтегазоносных районов Западной Сибири*. Тюмень: ЗапСибНИГНИ, с. 28–57.

Berner R., Raiswell R. (1983). Burial of organic carbon and pyrite sulfur in sediments over Phanerozoic time: a new theory. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47, pp. 855–862. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(83\)90151-5](https://doi.org/10.1016/0016-7037(83)90151-5)

Zanin Y.N., Zamirailova A.G., Eder V.G. (2012). Some Calcareous Nannofossils from the Upper Jurassic-Lower Cretaceous Bazhenov Formation of the West Siberian Marine Basin, Russia. *The Open Geology Journal*, 6, pp. 25–31. <https://doi.org/10.2174/1874262901206010025>

Статья поступила в редакцию 04.05.2023;

Принята к публикации 21.08.2023;

Опубликована 30.12.2023

Сведения об авторах

Михаил Александрович Фомин – канд. геол.-минерал. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории проблем геологии, разведки и разработки месторождений трудноизвлекаемой нефти, заместитель директора по научной работе, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН

Россия, 630090, Новосибирск, пр. Академика Коптюга, д. 3. e-mail: FominMA@ipgg.sbras.ru

Рашид Маратович Саитов – научный сотрудник лаборатории проблем геологии, разведки и разработки месторождений трудноизвлекаемой нефти, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН; инженер I категории лаборатории петрофизики Научно-лабораторного центра, АО «Геологика»

Россия, 630090, Новосибирск, пр. Академика Коптюга, д. 3

Альвина Григорьевна Замирайлова – канд. геол.-минерал. наук, старший научный сотрудник лаборатории седиментологии, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН

Россия, 630090, Новосибирск, пр. Академика Коптюга, д. 3

IN ENGLISH

ORIGINAL ARTICLE

Lithology and oil content of the Bazhenov Formation in the central part of the Mansi Syneclise (Russia)

M.A. Fomin^{1*}, R.M. Saitov^{1,2}, A.G. Zamirailova¹

¹Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation

²Geologika JSC, Novosibirsk, Russian Federation

*Corresponding author: Mikhail A. Fomin, e-mail: FominMA@ipgg.sbras.ru

Abstract. The article presents the results of studying four sections of the Bazhenov Formation and the overlying sediments in the central part of the Mansi syncline, which are based on a comprehensive analysis of the results laboratory lithological and geochemical studies of core material and data from a wide range of geophysical studies of wells. For lithological characteristics, the section of the Bazhenov Formation was divided into five members, which differ in the ratio of carbonaceous, clayey, siliceous contents and carbonate component of rocks. The boundaries of the units were determined by their lithological composition, and then the velocity rectified taking into account GIS. The first two members are characterized by high contents of siliceous and clayey material, the third – a significant increase in the siliceous component, the fourth – increased concentrations of organic matter, which indicates its higher compared to the lower part section oil generation potential. In the fifth member, the content of carbonate material increases, the “coccolithic” interval is divided, and numerous fragments of bivalves are noted. Throughout the section minerals (strontianite, witherite) were discovered in the Bazhenov Formation, indicating that they occurred in diagenesis hydrothermal processes.

In the section of one of the studied wells in the middle part of the Bazhenov formation, a reservoir interval was identified.

High variability of reservoir properties of Bazhenov rocks was noted even within one oil-field, which is associated with their secondary transformations of rocks in dia- and catagenesis. It is substantiated, that materials of geophysical studies of wells that does not contain nuclear magnetic resonance data can only be used to identify possible productive intervals, the study of which by laboratory methods will allow establish the presence or absence of collectors in them.

Keywords: Bazhenov Formation, Western Siberia, core, well-log data, lithological composition, reservoir, oil content

Recommended citation: Fomin M.A., Saitov R.M., Zamirailova A.G. (2023). Lithology and oil content of the Bazhenov Formation in the central part of the Mansi Syneclise (Russia). *Georesursy = Georesources*, 25(4), pp. 176–191. <https://doi.org/10.18599/grs.2023.4.20>

References

Balushkina N.S., Yurchenko A.Yu., Kalmykov G.A., Korobova N.I., Petrakova N.N., Bugaev I.A. (2016). Genesis and oil bearing capacity of carbonate rocks of Bazhenov and Abalak formations. *Neftyanoe khokhyaystvo = Oil industry*, 1, pp. 32–25. (In Russ.)

Belkin V.I., Efremov V.P., Kaptelev N.R. (1983). Model of oil reservoirs of the Bazhenov formation. *Neftyanoe khokhyaystvo = Oil industry*, 10, pp. 27–31. (In Russ.)

- Berner R., Raiswell R. (1983). Burial of organic carbon and pyrite sulfur in sediments over Phanerozoic time: a new theory. *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 47, pp. 855–862. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(83\)90151-5](https://doi.org/10.1016/0016-7037(83)90151-5)
- Braduchan Yu. V., Golbert A. V., Gurari F. G., Zakharov V. A., Bulynnikova S. P., Klimova I. G., Mesezhnikov M. S., Vyachkileva N. P., Kozlova G. E., Lebedev A. I., Nalnyaeva T. I., Turbina A. S. (1986). Bazhenov horizon of Western Siberia (stratigraphy, paleogeography, ecosystem, oil content). Novosibirsk: Nauka, 217 p. (In Russ.)
- Bulynnikova S. P., Golbert A. V., Klimova I. G., Kontorovich A. E., Polyakova I. D., Reshetnikova M. A., Turbina A. S. (1978). Paleobiofacies of oil and gas bearing Volgian and Neocomian deposits of the West Siberian plate. Moscow: Nedra, 86 p. (In Russ.)
- Decision of the 6th Interdepartmental Stratigraphic Meeting on Consideration and Adoption of Updated Stratigraphic Schemes of Mesozoic Deposits in Western Siberia (2003). Novosibirsk, SNIIGGiMS, IGNG SB RAS, 2004, 114 p. (In Russ.)
- Decisions of the V Interdepartmental Regional Stratigraphic Meeting on Mesozoic deposits of the West Siberian Plain (1991). Tyumen, 54 p. (In Russ.)
- Eder V. G. (2020). Pyritization of Rocks in Black Shale/Host Rock Transition Zones: Evidence from the Bazhenov Formation, Western Siberia. *Lithol. Miner. Resour.*, 55, pp. 218–230. <https://doi.org/10.1134/S0024490220030025>
- Eder V. G., Balushkina N. S., Zamirailova A. G. et al. (2021). Lithological and Geochemical Evidence of Catagenetic Transformations in Black Shales Based on the Example of the Western Siberian Bazhenov Formation. *Moscow Univ. Geol. Bull.*, 76, pp. 163–175. <https://doi.org/10.3103/S0145875221020022>
- Eder V. G., Kostyreva E. A., Yurchenko A. Yu., Balushkina N. S., Sotnich I. S., Kozlova E. V., Zamirailova A. G., Savchenko N. I. (2019). New data on lithology, organic geochemistry and accumulation conditions of the Bazhenov formation in Western Siberia. *Georesursy = Georesources*, 21(2), pp. 129–142. (In Russ.) <https://doi.org/10.18599/grs.2019.2.129-142>
- Eder V. G., Ryzhkova S. V., Dzyuba O. S. et al. (2022). Lithostratigraphy and Sedimentation Conditions of the Bazhenov Formation (Western Siberia) in the Central, Southeastern, and Northern Regions of Its Occurrence. *Stratigr. Geol. Correl.*, 30, pp. 334–359. <https://doi.org/10.1134/S0869593822050021>
- Filina S. I., Korzh M. V., Zonn M. S. (1984). Paleogeography and oil content of the Bazhenov suite in Western Siberia. Moscow: Nauka, 36 p. (In Russ.)
- Fomina M. M., Balushkina N. S., Khotylev O. V., Kalmykov A. G., Bogatyreva I. Ya., Kalmykov G. A., Reutskaya I. O., Romanenko S. A., Topchy M. S., Alekhin A. A. (2021). Potential-productive intervals determination of the Tutleim formation in the central part of the Krasnoleninsky arch. *Georesursy = Georesources*, 23(2), pp. 132–141. (In Russ.) <https://doi.org/10.18599/grs.2021.2.13>
- Gorshkov A. M., Saitov R. M. (2023) Methodology for determining porosity and saturation of shale rocks using disintegrated core. *Neftyanoe khokhyaystvo = Oil industry*, 1, pp. 6–12. (In Russ.) <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2023-1-6-12>
- Grabovskaya F. R., Zhukov V. V., Zagranovskaya D. E. (2018). Structure and Formation Conditions of the Bazhenovo Horizon in the Pal'yano Area, West Siberia. *Lithol. Miner. Resour.*, 53, pp. 179–189. <https://doi.org/10.1134/S0024490218030021>
- Gurari F. G. (1961). About the search for oil and gas in the Mesozoic of the West Siberian Lowland. *Tr. SNIIGGiMS*, 17, pp. 15–31. (In Russ.)
- Gurari F. G., Matvienko N. I. (1980). Paleogeography of the Bazhenov Formation according to the distribution of uranium in it. *Tr. SNIIGGiMS*, 275, pp. 81–91. (In Russ.)
- Gurari F. G., Vaites E. Ya., Melenevsky V. N., Moskvina V. I., Perozio G. N., Predtechenskaya E. A., Rudnitskaya D. I., Stasova O. F., Frolov V. Kh., Frolova L. A. (1988). Formation conditions and methods of prospecting for oil deposits in shale of the Bazhenov Formation. Moscow: Nedra, 200 p. (In Russ.)
- Kalmykov G. A., Balushkina N. S. (2017). Model of oil saturation of the pore space of rocks of the Bazhenov formation of Western Siberia and its use for assessing the resource potential. Moscow: GEOS, 246 p. (In Russ.)
- Khotylev O. V., Gatovsky Yu. A., Balushkina N. S., Kotochkova Yu. A., Korobova N. I., Fomina M. M., Karpova E. V., Kalmykov G. A. (2021). Models of sedimentation of the Bazhenov High-Carboniferous Formation in the zone of the Tutleim and Bazhenov Formations. *Georesursy = Georesources*, 23(2), pp. 120–131. (In Russ.) <https://doi.org/10.18599/grs.2021.2.11>
- Kontorovich A. E., Burshtein L. M., Nikitenko B. L., Ryzhkova S. V., Borisov E. V., Ershov S. V., Kostyreva E. A., Kontorovich V. A., Nekhaev A. Yu., Ponomareva E. V., Fomin M. A., Yan P. A. (2019a). Volgian-Early Berriasian Marginal Filter in the West Siberian Marine Basin and Its Influence on Sediment Distribution. *Litologiya i poleznye iskopaemye = Lithology and minerals*, 3, pp. 199–210. (In Russ.)
- Kontorovich A. E., Burshtein L. M., Livshits V. R., Ryzhkova S. V. (2019b). The main directions of development of the Russian oil complex in the first half of the 21st century. *Vestnik Rossiyskoy Akademii nauk = Bulletin of the Russian Academy of Sciences*, 89(11), pp. 1095–1104. (In Russ.) <https://doi.org/10.1134/S101933161906008X>
- Kontorovich A. E., Ershov S. V., Kazanenkova V. A., Karogodin Yu. N., Kontorovich V. A., Lebedeva N. K., Nikitenko B. L., Popova N. I., Shurygin B. N. (2014). Cretaceous paleogeography of the West Siberian sedimentary basin. *Russ. Geol. Geophys.*, 55(5–6), pp. 582–609. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2014.05.005>
- Kontorovich A. E., Kontorovich V. A., Ryzhkova S. V., Shurygin B. N., Vakulenko L. G., Gaideburova E. A., Danilova V. P., Kazanenkova V. A., Kim N. S., Kostyreva E. A., Moskvina V. I., Yan P. A. (2013). Jurassic paleogeography of the West Siberian sedimentary basin. *Russ. Geol. Geophys.*, 54(8), pp. 747–779. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2013.07.002>
- Kontorovich A. E., Yan P. A., Zamirailova A. G., Kostyreva E. A., Eder V. G. (2016). Classification of rocks of the Bazhenov Formation. *Russ. Geol. Geophys.*, 57(11), pp. 1606–1612. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2016.10.006>
- Kontorovich V. A., Belyaev S. Yu., Kontorovich A. E., Krasavchikov V. O., Kontorovich A. A., Suprunenko O. I. (2001). Tectonic structure and history of evolution of the West Siberian geosyncline in the Mesozoic and Cenozoic. *Geologiya i geofizika = Russian Geology and Geophysics*, 42(11–12), pp. 1832–1845. (In Russ.)
- Makarova O. M., Korobova N. I., Kalmykov A. G., Kalmykov G. A., Balushkina N. S., Belokhin V. S., Kozlova E. V., Kosorukov V. L., Manuilova E. A. (2017). The main rock types of the Bazhenov formation on the Surgut arch and adjacent territories. *Georesursy = Georesources*, 2, pp. 155–164. <https://doi.org/10.18599/grs.19.16>
- Methodological recommendations for calculating oil reserves in sediments of the Bazhenov horizon of the West Siberian oil and gas province, 2021, 19 p. (In Russ.)
- Nemova V. D. (2012). Conditions for the formation of reservoirs in deposits of the Bazhenov horizon in the area of the junction of the Krasnoleninsky arch and the Frolov megadepression. *Neftgazovaya Geologiya. Teoriya i Praktika = Petroleum Geology - Theoretical and Applied Studies*, 7(2), (In Russ.) http://www.ngtp.ru/rub/4/23_2012.pdf
- Nemova V. D. (2019). Multilevel lithological typification of rocks of the Bazhenov formation. *Neftyanoe khokhyaystvo = Oil industry*, 8, pp. 13–17. (In Russ.) <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2019-8-13-17>
- Nesterov I. I. (1985). Oil and gas potential of clayey bituminous rocks. *Structure and oil and gas content of Bazhenites in Western Siberia*. Tyumen, pp. 3–19. (In Russ.)
- Novikov G. R., Salmanov F. K., Tyan A. V. (1970). Prospects for the discovery of large oil deposits in fractured mudstones of the Bazhenov formation. *Nauchno-tekhnicheskii sbornik «Neft' i gaz Tyumeni»*, 7, pp. 1–3. (In Russ.)
- Panchenko I. V., Nemova V. D., Smirnova M. E., Ilyina M. V., Baraboshkin E. Yu., Ilyin V. S. (2016). Stratification and detailed correlation of Bazhenov Horizon in the central part of the Western Siberia according to lithological and paleontological core analysis and well logging. *Geologiya nefii i gaza = Russian Oil and Gas Geology*, 6, pp. 22–34. (In Russ.)
- Panchenko I. V., Sobolev I. D., Rogov M. A., Latyshev A. V. (2021). Volcanic tuffs and tuffites in the boundary deposits of the Jurassic and Cretaceous (Volgian-Ryazan stages) of Western Siberia. *Litologiya i poleznye iskopaemye = Lithology and minerals*, 2, pp. 144–183. (In Russ.)
- Predtechenskaya E. A., Krol L. A., Gurari F. G., Sapyanik V. V., Perozio G. N., Malyushko L. D. (2006). On genesis of the carbonates within Bazhenov Suit in central and south-eastern regions of West-Siberian plate. *Litosfera = Lithosphere*, 4, pp. 131–148. (In Russ.)
- Rozen O. M., Abbasov A. A., Migdisov A. A., Yaroshevsky A. A. (2000). The MINLITH code for calculating the mineral composition of sedimentary rocks: the reliability of the results when applied to deposits of ancient platforms. *Geokhimiya = Geochemistry*, 4, pp. 431–444. (In Russ.)
- Ryzhkova S. V., Burshtein L. M., Ershov S. V., Kazanenkova V. A., Kontorovich A. E., Kontorovich V. A., Nekhaev A. Yu., Nikitenko B. L., Fomin M. A., Shurygin B. N., Beizel A. L., Borisov E. V., Zolotova O. V., Kalinina L. M., Ponomareva E. V. (2018). The Bazhenov Horizon of West Siberia: structure, correlation, and thickness. *Russ. Geol. Geophys.*, 59(7), pp. 846–863. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2018.07.009>
- Saraev S. V. (1987). Petrochemical method in the study of the mineral composition of rocks of the Bazhenov formation in Western Siberia. *Geologiya i geofizika*, 10, pp. 33–38. (In Russ.)
- Stratigraphy of oil and gas basins of Siberia. Jurassic System (2000). Ed. A. E. Kontorovich. Novosibirsk: SB RAS, GEO branch, 480 p. (In Russ.)
- Temporary methodological guidelines for calculating oil reserves in fractured and fractured-pore reservoirs in the Bazhenov strata of the West

Siberian oil and gas province (2017). *Nedropol'zovaniye XXI vek*, 4, pp. 70–100. (In Russ.)

Ushatinsky I.N. (1981). Lithology and oil-bearing prospects of the Jurassic-Neocomian bituminous deposits of Western Siberia. *Sovetskaya geologiya*, 2, pp. 11–22. (In Russ.)

Vekshina V.N. (1962a). Coccolithophores of the Maryanovka formation of the West Siberian plate. *Materials on paleontology and stratigraphy of Western Siberia*. Leningrad: Gostoptekhizdat, pp. 101–103. (In Russ.)

Vekshina V.N. (1962b). Elements of paleogeography of the Mesozoic and Paleogene of the West Siberian Lowland according to the analysis of diatoms and coccolithophores. *Materials on paleontology and stratigraphy of Western Siberia*. Leningrad: Gostoptekhizdat, pp. 103–108. (In Russ.)

Yasovich G.S., Poplavskaya M.D. (1975). On the stratigraphy of bituminous deposits of the Upper Jurassic and Neocomian of the West Siberian Plain. *Materials on the geology of oil and gas bearing regions of Western Siberia*. Tyumen: ZapSibNIGNI, pp. 28–57. (In Russ.)

Zakharov V.A. (2006). Conditions for the formation of the Volgian-Berriasian high-carbon Bazhenov Formation in Western Siberia according to paleoecological data. *Evolution of the biosphere and biodiversity*, pp. 552–568. (In Russ.)

Zanin Yu.N., Zamirailova A.G., Eder V.G. (2005). Some aspects of the formation of the Bazhenov formation in the central regions of the West Siberian sedimentary basin. *Litosfera = Lithosphere*, 4, pp. 118–135. (In Russ.)

Zanin Y.N., Zamirailova A.G., Eder V.G. (2012). Some Calcareous Nannofossils from the Upper Jurassic-Lower Cretaceous Bazhenov Formation of the West Siberian Marine Basin, Russia. *The Open Geology Journal*, 6, pp. 25–31. <https://doi.org/10.2174/1874262901206010025>

Zubkov M.Yu. (2016). Regional and local prediction of oil and gas occurrence for Bazhenov and Abalak Formations in the western siberia. *Gornye Vedomosti*, 3–4, pp. 46–68. (In Russ.)

Zubkov M.Yu. (2018). Relationship between bituminization of Bazhenov Formation and hydrothermal processes in the western siberia. *Gornye Vedomosti*, 6, pp. 6–24. (In Russ.)

About the Authors

Mikhail A. Fomin – Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), Leading Researcher of the Laboratory for Problems of Geology, Exploration and Development of Hard-to-Recover Oil Fields, Deputy Director for Research, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

3 Ak.Koptyug ave., Novosibirsk, 630090, Russian Federation. e-mail: FominMA@ipgg.sbras.ru

Rashid M. Saitov – Researcher, Laboratory for Problems of Geology, Exploration and Development of Hard-to-Recover Oil Fields, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; Engineer of the Petrophysics Laboratory, Geologika JSC

3 Ak.Koptyug ave., Novosibirsk, 630090, Russian Federation

Alvina G. Zamirailova – Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), Senior Researcher, Laboratory of sedimentology, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

3 Ak.Koptyug ave., Novosibirsk, 630090, Russian Federation

Manuscript received 4 May 2023;

Accepted 21 August 2023;

Published 30 December 2023