

Модели седиментации баженовской высокоуглеродистой формации в зоне развития тутлеймской и баженовской свит

О.В. Хотылев¹, Ю.А. Гатовский², Н.С. Балушкина^{2*}, Ю.А. Коточкова²,
Н.И. Коробова², М.М. Фомина¹, Е.В. Карпова², Г.А. Калмыков²

¹Фонд «Национальное интеллектуальное развитие», Москва, Россия

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Баженовская высокоуглеродистая формация (БВУФ) представляет собой нетрадиционный высокоуглеродистый резервуар, границы которого в разрезе и на площади выделяются по величине концентрации аквагенного органического вещества в породах. Приведено строение обобщенного разреза БВУФ в зоне развития баженовской и тутлеймской свит, в котором выделены шесть коррелируемых пачек, стратиграфический объем которых сопоставим в разных частях бассейна. Для каждой пачки дана литолого-стратиграфическая характеристика, минерально-компонентный состав и латеральная изменчивость. Описаны индикаторы условий формирования, позволяющие уточнить геологическую историю бассейна: мощность и выдержанность пачек, фосфориты, туфовые и костеносные горизонты, альгинитовые прослои, радиоляритовые слои, спикуловые известняки и известняки с текстурой «con-in-con», интенсивно пиритизированные породы. Описаны особенности строения и латеральной выдержанности пластов радиоляритов исходя из модели их формирования в зоне действия течения. Сформированы и описаны два типа моделей седиментации: островного типа и внутривысокоуглеродистых поднятий в различных гидродинамических обстановках относительно течения. Полученные результаты позволяют анализировать литологическое строение БВУФ в разных частях бассейна и прогнозировать выдержанность и свойства основных литологических пластов, в том числе тех, с которыми часто связана промышленная нефтеносность БВУФ.

Ключевые слова: Западно-Сибирский нефтегазоносный бассейн, баженовская свита, тутлеймская свита, баженовская высокоуглеродистая формация, модель седиментации, типы разрезов, радиоляриты, течения

Для цитирования: 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 высокоуглеродистой формации в зоне развития тутлеймской и баженовской свит. *Георесурсы*, 23(2), с. 120–131 DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2021.2.11>

Введение

В работе рассмотрено строение обобщенного разреза баженовской высокоуглеродистой формации (БВУФ), объединяющей различные морские отложения в единый комплекс с общим признаком – современной концентрацией аквагенного органического вещества (ОВ), превышающей 2,5%. Величина граничной концентрации ОВ 2,5% отвечает переходу от рассеянного ОВ к концентрированному (Баженова и др., 2000).

Латеральные и вертикальные границы БВУФ выделяются не как стратиграфические уровни, а как поверхности фациальных замещений, выраженные постепенным снижением концентрации ОВ до кларкового для осадочных пород уровня, что на диаграммах радиоактивного каротажа выражается падением естественной радиоактивности от величин, превышающих 16 мкР/ч до 12–14 мкР/ч, стандартных для обычной глинистой толщи. В БВУФ, равно как и в других высокоуглеродистых отложениях, для расчета содержания ОВ по всему разрезу успешно используется радиоактивный метод каротажа в интегральной и спектральной модификации. Это обусловлено общеизвестными тесными генетическими связями урана

и органического вещества в высокоуглеродистых отложениях, которые хорошо отражаются на корреляционных графиках (Хабаров и др., 1980, Калмыков и др., 2017).

Баженовская и тутлеймская свиты наиболее обогащены ОВ и входят в состав БВУФ в полном объеме, к ним приурочены все основные залежи нефти, открытые в высокоуглеродистых морских отложениях на территории Западной Сибири (рис. 1).

БВУФ является региональным резервуаром стратегически важного для нефтяной промышленности значения, поскольку содержит углеводороды во всем объеме и может стать основным источником сланцевой нефти в России (Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources, 2013). При этом разработка БВУФ ведется только на нескольких месторождениях, приуроченных к бортовым зонам Фроловской мегавпадины, а суммарная накопленная добыча на 2019 год едва превышает 18 млн тонн (Шпильман, Шубина, 2019). Поэтому изучение и прогнозирование нефтегеологических свойств БВУФ на всей территории распространения является залогом его успешного освоения.

Среди исследователей закрепилось мнение, что залежи нефти в высокоуглеродистых отложениях баженовской и тутлеймской свит имеют литологический контроль и приурочены к пластам фосфоритов, радиоляритов, карбонатов, имеющих определенное положение в разрезе (Белкин

* Ответственный автор: Балушкина Наталья Сергеевна
e-mail: nataliabalushkina@mail.ru

© 2021 Коллектив авторов

и др., 1983; Грабовская и др., 2018, Алексеев, 2014; и др.). Однако закономерности площадного распространения этих потенциально продуктивных элементов разреза, равно как и представления об общей латеральной и вертикальной изменчивости БВУФ, необходимые для литологического прогноза, пока однозначно не сформулированы.

Цель данной работы – представить закономерности вертикальной и латеральной изменчивости отложений БВУФ в зоне развития баженовской и тутлеймской свит.

Одной из первых работ, в которой обобщены характеристики строения высокоуглеродистых (битуминозных) пород баженовской и тутлеймской свит Западной Сибири, является монография Ю.В. Брадучана с соавторами (Брадучан и др., 1986). В ней в результате изучения литологического состава и биоты баженовского моря предложена модель экосистемы, принципы стратиграфического расчленения и сопоставления разрезов и районирование территории бассейна по типам разреза, реконструированы основные этапы осадконакопления.

В настоящее время палеоэкология и модель формирования высокоуглеродистых отложений продолжают уточняться и детализироваться (Захаров, 2006; Панченко, Немова, 2017; Сухарев и др., 2006; Эдер и др., 2021; и др.).

Работами тюменских геологов (Авраменко и др., 2019) на основании керновых исследований в совокупности с анализом геохимических индикаторов, реконструированы условия формирования абалакско-баженовских отложений на Ем-Еговском участке Краснотенского месторождения.

В.Г. Эдер с соавторами (Эдер и др., 2021) показали важную роль вторичных преобразований в формировании современного литологического облика пород, что необходимо учитывать при анализе латеральной неоднородности толщи и реконструкции седиментации в разные периоды существования бассейна.

В попытке свести воедино все закономерности строения и стратиграфии БВУФ предлагаются все новые типы разрезов отложений на основе изменчивости геолого-геофизических характеристик и литологических особенностей. В частности, Е.А. Предтеченская и соавторы (Предтеченская и др., 2006) выделили 8 типов разрезов на основании данных минерального состава и комплекса ГИС и показали, что в верхнеюрско-нижнемеловое время рельеф унаследовал основные структуры, сформированные ранее. В недавней обобщающей работе М.Б. Скворцова (Скворцов и др., 2018) по комплексу параметров геологического строения и нефтепродуктивности выделены уже 24 типа разрезов, что существенно затрудняет региональное сопоставление данных. Таким образом, пытаясь учесть все новые и новые особенности как литологического, так и геофизического строения разрезов, исследователи приходят к ситуации, когда по факту каждая новая скважина дает новый тип разреза.

Мы попытались отойти от такого подхода и предлагаем в качестве метода сопоставления разрезов БВУФ использовать сравнительную характеристику всех вскрываемых отложений по хорошо коррелируемым литологическим пачкам, для каждой из которых определен стратиграфический объем. При таком подходе в разрезах фиксируются отличия в литологической и стратиграфической полноте разрезов и местные особенности, которые отражают

изменения в условиях осадконакопления.

Реализация такого подхода стала возможной благодаря адаптации и практическому применению разработанной Панченко с соавторами (Панченко и др., 2015) схемы расчленения баженовской (БС) и тутлеймской свит (ТС) на макроэвистические комплексы и пачки по комплексу литологии, минералогии и палеонтологии.

Предложенное разделение было применено авторами настоящей статьи при изучении БВУФ в разных частях бассейна и позволило выявить некоторые новые закономерности латеральной и вертикальной изменчивости отложений формации в зоне развития баженовской и тутлеймской свит. Эти закономерности обобщены в моделях седиментации для различных участков рельефа морского дна и различных гидродинамических обстановок.

Изложенные в работе результаты получены в рамках выполнения целевого регионального инновационного проекта по разработке системного подхода и комплексированию методов при исследовании и прогнозировании свойств БВУФ (Балушкина и др., 2021).

Фактическим материалом в работе послужили колонки керна из отложений БВУФ по более чем 100 скважинам и материалы ГИС по 300 скважинам, а также результаты испытаний по 250 скважинам. Комплекс методов включал литологическое макроописание колонок керна, палеонтологический анализ, определение полного минерально-компонентного состава пород по методике, предложенной Калмыковым (Калмыков, 2017), петрографическое описание пород в шлифах и измерение фильтрационно-емкостных свойств пород газовой метрическим методом. Территория исследования охватывает серию месторождений Краснотенского свода, Фроловской мегавадины, Салымского, Сургутского, Нижневартовского сводов и Демьянского мегавала (рис. 1).

Общая схема строения разреза БВУФ

На сегодняшний день обобщенный разрез БВУФ состоит из двух частей, которые, согласно Стратиграфическому кодексу (Стратиграфический кодекс России, 2005), соответствуют подсвита, отличающимся друг от друга содержанием ОВ, видовым составом радиолярий, морфологическими и генетическими типами карбонатов и различным отражением на кривых ГИС (Калмыков, Балушкина, 2017) (рис. 2).

В нижнем и в верхнем разделах выделяется по три пачки, отличающиеся по литологическому составу и составу фауны.

Пачки обычно хорошо распознаются при литологическом описании керна и на минерально-компонентных моделях (МКМ), хотя четких границ между ними не наблюдается. Для ТС такое разделение на пачки также выдерживается, однако в этом случае 1–5 пачки относятся к нижнетутлеймской подсвите, 6 пачка – к верхнетутлеймской подсвите. В качестве основы биостратиграфического расчленения предложены пять радиоляриевых биогоризонтов, которые хорошо сопоставляются с литологическими пачками (Вишневская и др., 2020) и подтверждены: (1) зона *Parvicingula antoshkinae*–*P. blowi* (нижний титон–низы среднего титона) – соответствует породам первой и второй пачек; (2) зона *Parvicingula jonesi*–*P. excelsa*, (средний титон–низы верхнего титона) – установлена в породах

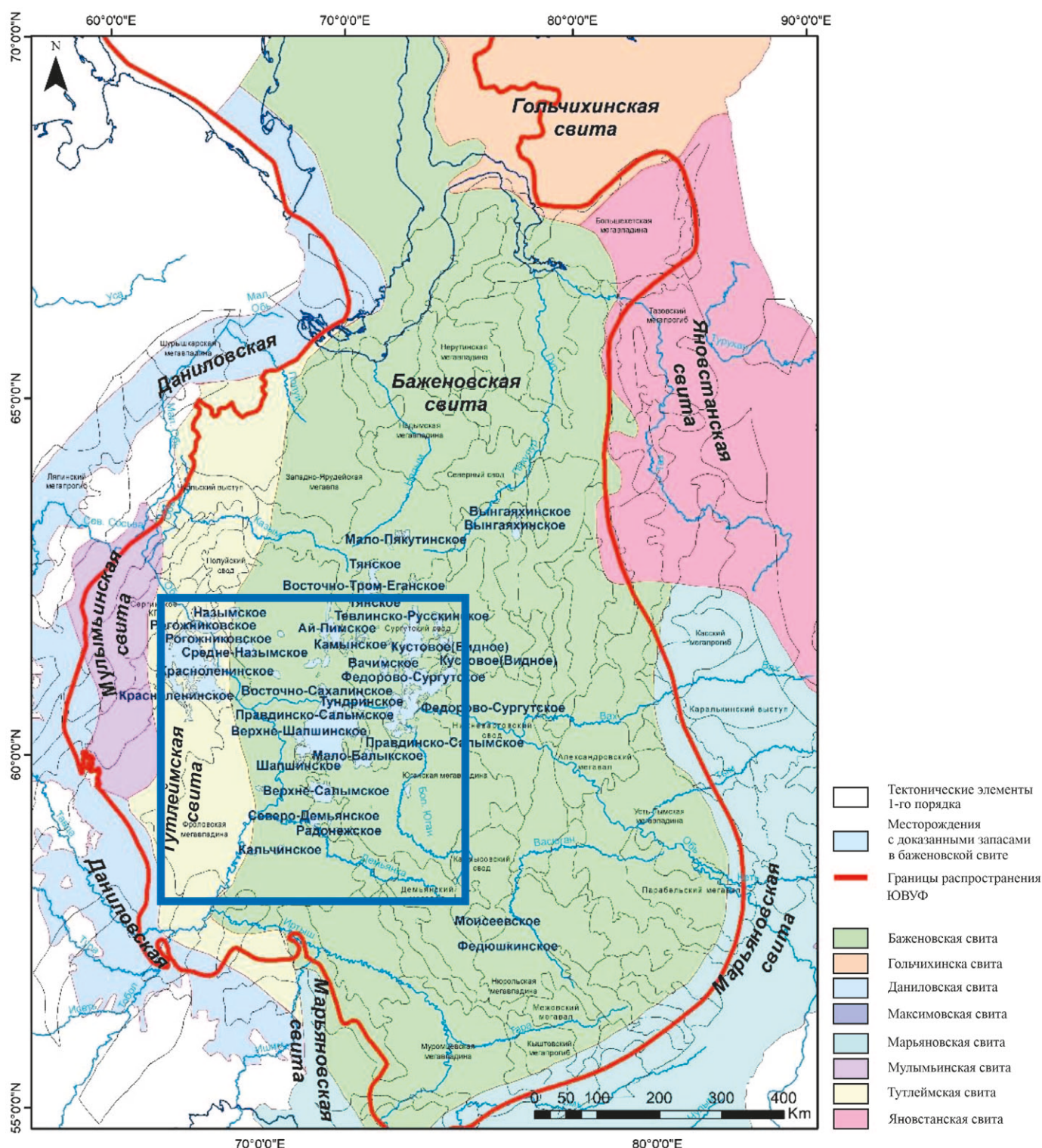


Рис. 1. Территория исследования и распространение БВУФ и свит, входящих в ее состав, на территории Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна (по материалам (Брадучан и др., 1986). Контуры месторождений в БВУФ по материалам ИГиРГИ (Карта размещения..., 2009)), с дополнениями.

третьей пачки; (3) зона *Parvicingula rotunda*–*P. Alata* (верхи верхнего титона, возможно включая низы берриаса) – выделяется в четвертой пачке; (4) зона *Parvicingula khabakovi*–*Williriedellum salymicum*, (верхи верхнего подъяруса волжского яруса–рязанский ярус (берриас)) – проходит в пятой пачке, и (5) слои с *Williriedellum*, верхняя часть рязанского яруса–валанжин (берриас–валанжин) – соответствуют шестой пачке. Возраст всех зон подтвержден находками аммонитов. Стратиграфическая позиция основания биостратона *Parvicingula antoshkinae*–*P. blowi*

и кровли слоев с *Williriedellum* еще требуют уточнения и дополнительного обоснования.

В работе Калмыкова Г.А. и соавторов (Калмыков и др, 2017) границы радиоляриевых биогоризонтов сопоставлены с макрофаунистическими комплексами, охарактеризованы этапы осадконакопления, и показано, что высокими фильтрационно-емкостными свойствами (ФЕС) обладают доломитизированные радиоляриты, образованные скелетами вида *Parvicingula jonesi* Pessagno, (средний титон–низы верхнего титона) которые характеризуются

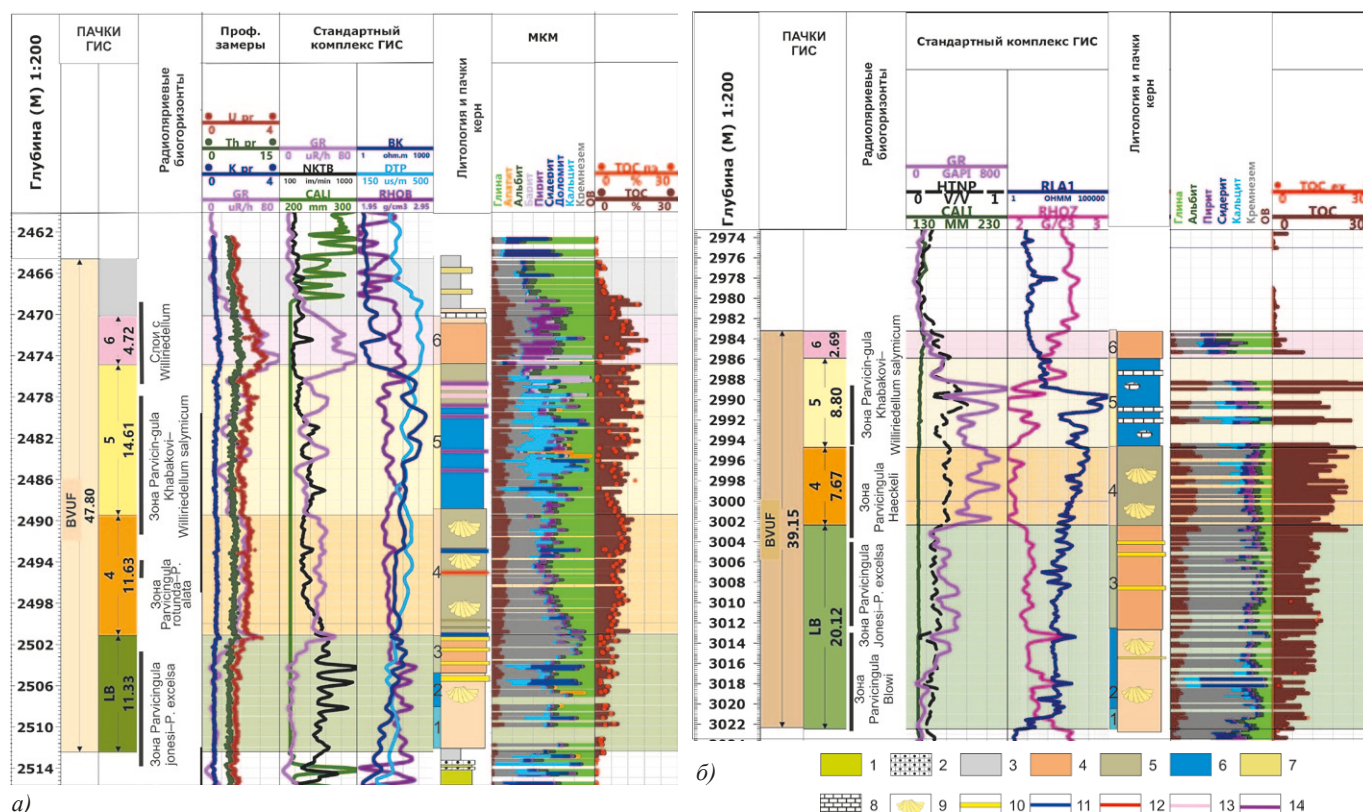


Рис. 2. Строение обобщенного разреза БВУФ, биостратиграфическая и геофизическая характеристика пачек в зоне развития: а) туллемской свиты и б) баженовской свиты. 1 – глауконитово-глинистые породы; 2 – водорослевые известняки; 3 – глинистые породы; 4 – глинисто-кремнистые породы; 5 – керогеново-глинисто-кремнистые породы; 6 – керогеново-глинисто-кремнисто-карбонатные породы с конкрециями и прослоями известняков; 7 – кремнисто-глинистые породы; 8 – прослои известняков; 9 – прослои раковинного детрита; 10 – радиоляритовые слои; 11 – костеносные («конденсированные») горизонты; 12 – туфовый прослой; 13 – баритовые прослои; 14 – фосфоритовые прослои и конкреции. LB – «lower bazhen».

многочисленностью камер и их крупным размером.

Первая (нижняя) пачка представлена однородными темно-серыми глинисто-кремнистыми породами (рис. 3а, б). В целом по бассейну состав варьируется от глинисто-кремнистого до кремнисто-глинистого. Одной из особенностей пачки является наличие в нижней ее части коричневатых фосфоритовых конкреций (рис. 3в). В некоторых разрезах в пределах пачки могут присутствовать маломощные радиоляритовые слои (РС), которые приурочены к ее кровле, но в целом для пачки они не характерны. Из органических остатков в составе пород отмечаются ониихиты, редкие остатки ростров белемнитов, рыб, и раковины лингулид. Присутствие в составе пачки комплекса радиолярий с *Parvicingula blowi* датирует ее возраст как ранневожский (Вишневская и др., 2020). Нижневожский возраст подтверждается находками аммонитов *Virgatospinctoides* cf. *laticostatus* (Рогов М.А., неопубликованные данные).

Пачка 2 по нормативному минеральному составу от первой не отличается: состоит из темно-серых с буроватым оттенком углеродистых глинисто-кремнистых пород, обычно с прослойками детрита двустворок, аммонитами и многочисленными остатками радиолярий, рыб и теутид. Породы пачки могут содержать значимые количества рассеянного кальцита и маломощные прослои радиоляритов. Наиболее контрастное (по литологии) выражение пачка имеет на палеоподнятиях, где она несколько более глинистая по составу и содержит комплекс двустворок *Liostrea*–*Inoceramus*–*Buchia* с аммонитами *Dorsoplanites* (Панченко

и др., 2015). При отсутствии двустворок пачка как таковая не выделяется и, соответственно, по латерали может фациально замещаться отложениями первой пачки. Возраст пачки по аммонитам (Рогов М.А., неопубликованные данные) установлен как верхи нижневожского (*Paravirgatites* sp.) – средневожский подъярус (*Dorsoplanites ovalis*, *Epivirgatites bipliciformis*, *Laugeites* sp.).

Третья пачка сложена высококремнистыми породами и радиоляритами, чаще всего вторично кальцитизированными либо доломитизированными. Это хорошо видно на МКМ, где количество кремнистой составляющей значительно превышает долю глинистой компоненты. Остатки макрофауны редки и не характерны, за исключением аллохтонных скоплений остатков нектона (рыб и теутид). На ряде месторождений доказано, что именно эта пачка является приточным интервалом (Калмыков, Балушкина, 2017).

Разрез пачки отличается на различных участках и зависит от особенностей палеорельефа. На поднятиях в разрезе присутствует существенно большее количество радиоляритовых слоев, и они имеют значительную (до метра и более) толщину. В пределах впадин ситуация обратная – количество РС мало, или РС отсутствуют вовсе. В породах пачки установлен радиоляриевый комплекс с *Parvicingula jonesi*, и возраст пачки определяется как средняя–верхняя волга (Панченко и др., 2013, 2015; Вишневская и др., 2020). Находки аммонитов *Laugeites* aff. *groenlandicus*, *Epilaugeites vogulicus*, *Praechetaites* ex gr. *exoticus*, *Craspedites* sp. подтверждают

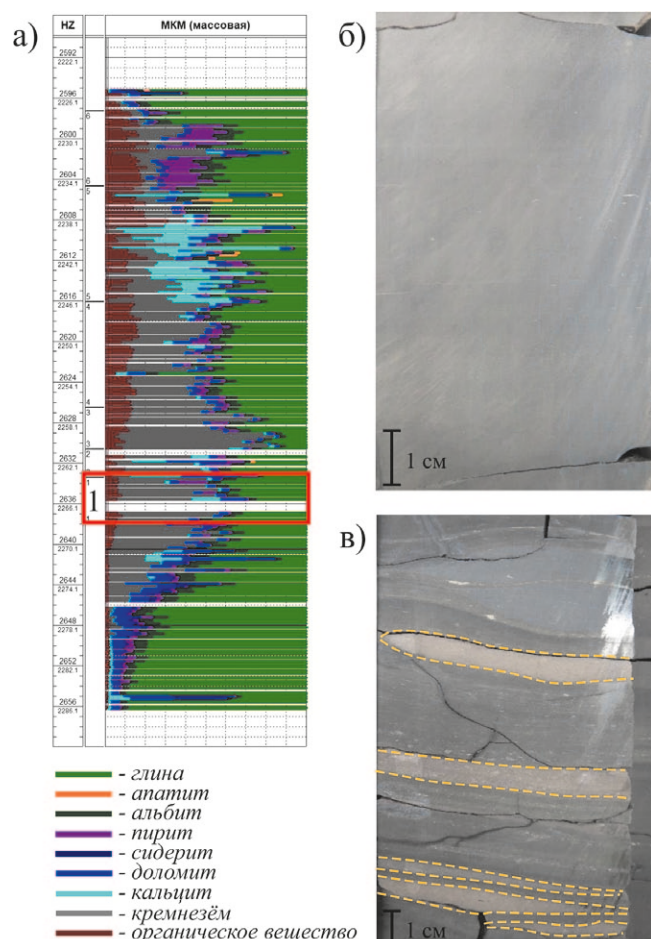


Рис. 3. Облик первой пачки. а) Минерально-компонентная модель (МКМ) по скважине (красным выделена первая пачка); б), в) фотографии колонок керна в дневном свете, соответствующие породам первой пачки: б) однородные темно-серые глинисто-кремнистые породы; в) фосфоритовые конкреции (выделены жёлтым пунктиром).

средне–верхневолжский возраст отложений (Рогов М.А., неопубликованные данные).

Кровля пачки является одновременно кровлей нижней части БС и ТС.

Из-за близкого литологического состава пачки 1–3 практически не разделимы по комплексу ГИС, поэтому на каротажных диаграммах при расчленении разрезов БВУФ они объединяются в единую пачку («lower bazhen» – LB на рисунке 2).

Верхний раздел начинается с четвертой пачки, которая характеризуется аномально высокими содержаниями ОВ и высокой радиоактивностью. По высоким показаниям ГК пачка надежно выделяется по каротажу. Верх пачки могут быть вторично кальцитизированы. Сложена темно-коричнево-серыми керогеново-глинисто-кремнистыми породами, обычно с биокластами двустворок исключительно двух родов *Buchia* и *Inoceramus*; с многочисленными аммонитами. Из органических остатков присутствуют также фрагменты костного детрита рыб и онихиты. Пачка весьма ярко выражена в керне и легко опознается, поскольку её маркируют крупные прослои двустворок, вплоть до ракушняков. Однако в некоторых случаях двустворки в породах пачки могут отсутствовать (аналогично пачке 2) или присутствовать только в верхней ее половине. Характерно повсеместное наличие бурого

прослоя (до 1 см) пелитизированных туфов (Панченко и др., 2015), хорошо опознающегося в ультрафиолетовом свете за счет своего яркого желтого свечения. Он присутствует во всех скважинах и БС и ТС и, вероятно, образовался одновременно на весьма обширной территории. Кроме того, в центральной части бассейна в пачке могут присутствовать альгинитовые слои (Булатов и др., 2019) – своеобразные образования с градиционной слоистостью, имеющие яркое свечение в УФ, но хорошо различимые и в обычном свете. Характерны также прослои битума толщиной до 0,5 см в количестве 1–2 на пачку. В породах пачки нами установлены кокколитофориды. От третьей пачки четвертая может отделяться костеносными «конденсированными горизонтами» – одним или несколькими прослоями с повышенным количеством органических остатков (фрагментов костей рыб и онихитов).

Согласно данным биостратиграфического анализа, отложения нижней части четвертой пачки формировались в конце средневолжского времени, в то время как завершение разреза пришлось на основание берриаса (Панченко и др., 2013). Новые данные по радиоляриям позволяют выделить в четвертой пачке радиоляриевую зону *Parvicingula rotunda*–*P. alata* (верхи верхнего титона, возможно включая низы берриаса). По заключению М.А. Рогова, находки аммонитов *Craspedites taimyrensis*, *Chetaites chetae* и *Chetaites sibiricus* в этой пачке также указывают на возраст отложений как верхи волжского–низи рязанского яруса.

Пятая пачка складывается керогеново-глинисто-карбонатно-кремнистыми породами (рис. 4а). Подошва пачки отбивается по появлению слоев, насыщенных биогенным карбонатом (множественными остатками кокколитофорид), и общей рассеянной карбонатностью. Здесь же, обычно, присутствует большое количество карбонатных конкреций (рис. 4б), пластовых и линзовидно-пластовых вторичных известняков и доломитов. В разных частях бассейна состав разреза пятой пачки может несколько варьировать: изменяются как размер карбонатных конкреций, так и общая обогащенность интервала ими. Наибольшее их количество фиксируется на участках, расположенных в апикальных частях палеоподнятий, в то время как ниже по склонам и в котловинах карбонатные стяжения будут единичны, или могут отсутствовать совсем, сменяясь рассеянным карбонатом. Породы обогащены кокколитофорами, скопления скелетов которых могут формировать своеобразный кокколитоковый коллектор, пористость которого, по нашим данным, достигает 8%. Кроме того, в пределах внутрибассейновых поднятий в разрезе пачки фиксируются спиккуловидные известняки (рис. 4в). Эти своеобразные формирования разбиты трещинами, заполненными кальцитом белым или коричневым. Генезис этих известняков полностью не ясен. В пачке могут присутствовать также фосфориты. В отличие от фосфоритов нижней части, они являются обломочными и переотложенными.

За счет повышенного содержания карбонатов, пачка 5 на диаграммах стандартного каротажа фиксируется по повышенным значениям бокового и нейтронного каротажа (рис. 2).

Возраст отложений по радиоляриям определяется как зона *Parvicingula khabakovi*–*Willriedellum salymicum*, (верхи верхнего подъяруса волжского яруса–рязанский ярус

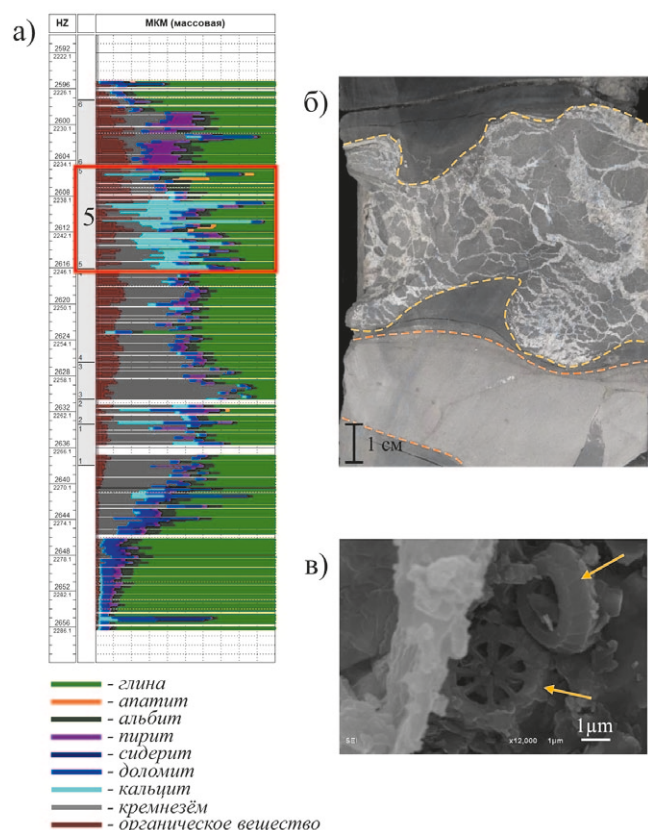


Рис. 4. а) Минерально-компонентная модель по скважине (красным выделена пятая пачка); б) спикуловые известняки (выделено жёлтым пунктиром) и карбонатная конкреция (выделено оранжевым пунктиром); в) кокколитофориды (указаны жёлтыми стрелками) – фотография, снятая под растровым электронным микроскопом, увеличение $\times 12000$.

(берриас)). Обнаруженные аммониты *Surites* sp., *Bojarkia* cf. *bodylevskii* и *Tollia* cf. *tollia* датируют отложения как рязанский ярус (Рогов М.А., неопубликованные данные).

По резкому увеличению в составе пород количества пирита (до 20–25%) фиксируется переход пятой пачки в шестую. В зоне развития тутлеймской свиты породы пачки 6 имеют мощность до 10 и составляют верхнетутлеймскую подсвиту. В центральной части бассейна, в БС, пиритизация проявлена слабо или не проявлена совсем, и шестая пачка представляет собой переходную зону от высокоуглеродистых отложений к вмещающим терригенным следующего этапа осадконакопления и имеет мощность в среднем 1–2 м. В кровле пачки могут отмечаться пиритизированные следы биотурбации *Chondrites* sp., *Pilichnus* sp., местами достаточно многочисленные (Панченко и др., 2013). Породы выдержаны по составу. Максимальные количества пирита также приурочены к поднятиям и подводным плоскогорьям. В котловинах количество пирита резко уменьшается, что, вероятно, связано с наличием течений в более глубоководных участках бассейна. Любопытной особенностью пачки являются появляющиеся на палеоподнятиях известняки со структурой «con-in-con», количество которых варьирует от одного до трех прослоев. Исследования аналогичных образований в разрезах Шпицбергена и Тимана (Тугарова, 2014; Шумилов, 2018) определяют их как очень мелководные образования, что предполагает формирование пиритовых пород при низком стоянии уровня моря.

Литологические индикаторы условий формирования

Приступая к реконструкции обстановок осадконакопления в морском бассейне, перечислим ряд литологических особенностей, которые могут быть использованы в решении этой задачи:

- состав, количество и мощность пачек;
- фосфоритовые конкреции и прослои;
- туфовые горизонты;
- наличие слоев с большим количеством двустворок;
- радиоляритовые слои с различными толщинами и текстурами;
- присутствие конденсированных горизонтов;
- присутствие альгинитовых слоев;
- наличие интенсивно пиритизированных слоев;
- присутствие карбонатных слоев спикуловых известняков и известняков с текстурой «con-in-con».

Количество пачек, слагающих разрезы БВУФ, и их толщина определяются положением изучаемого разреза относительно палеорельефа и несколько меняется по территории. В пределах впадин разрезы имеют обычно полный набор пачек и максимальную мощность. Иногда вторая пачка, вследствие особенностей ее формирования (см. выше) по латерали, замещается первой. На склоновых участках палеоподнятий при полном наборе пачек (6 пачек) толщина их обычно сокращена. Апикальные части поднятий, представлявшие собой острова в определенный период осадконакопления (например Уренский участок, Каменная вершина Красноленинского свода), несут стратиграфически и литологически неполные разрезы, в которых отсутствуют нижние 2–3 пачки (обычно – первая и вторая, но местами и третья).

Фосфоритовые стяжения могут присутствовать в кровле подстилающих отложений абалакской и георгиевской свит или в основании разреза БВУФ – вне зависимости от пачки, с которой разрез начинается, а также в верхах разреза БВУФ на уровне 4–5 пачек. Соответственно, в первом случае это будут перемещённые фосфориты, во втором и третьем – обычно образованные in situ. Вероятнее всего, механизмом формирования фосфоритов на склонах поднятий будет апвеллинг, то есть поднятие по склону вверх из глубоководных зон холодных вод, обогащенных питательными веществами, которые будут давать вспышку жизни на соответствующих глубинах и формирование фосфоритов за счет этого. Такой механизм формирования фосфоритов в черных сланцах известен и описан в литературе (Батулин, 1988). Фосфориты фиксируются только на склонах поднятий, в частности, они наблюдаются на Каменной вершине на Пальяновской площади (Грабовская и др., 2018).

Конденсированные (костеносные) горизонты (КГ) систематически фиксируются в разрезах пачек или на их границах и представляют собой маломощные (0,5–3 см, редко до 12–15 см) горизонты, на 50–80% состоящие из фрагментов костных остатков рыб с примесью онихитов (*Onychites* sp.). Они имеют характерную неровную нижнюю границу, сформированную в процессе размыва. Наблюдается следующая закономерность в распределении КГ: чем ближе к поднятию расположена скважина, тем количество их меньше, и они толще. Чем глубже в бассейн, тем они тоньше, и количество их больше. На весь

разрез количество костеносных горизонтов составляет обычно от 3 до 7.

КГ могут возникать благодаря действию четырех механизмов:

Замедленная седиментация – когда накопление терригенного материала мало и поэтому фактически слой формируется из остатков организмов.

Волновой процесс – когда накопившаяся толща осадков перемывается волнением (рис. 5а) с образованием темпеститов. Этот вариант возможен, если существуют редкие, но достаточно интенсивные волнения, которые промывают осадок через большую толщу воды (Aigner, 1982). Вариант формирования КГ по этому механизму рассматривался И.В. Панченко (Панченко и др., 2015; Щепетова и др., 2015).

Концентрация материала течениями за счет размыва осадка (рис. 5б) (Stow et al., 2002).

Накопление ОВ в волноприбойной зоне за счет концентрации волновой деятельности (Rogers et al., 2007).

РС являются характерной особенностью изучаемых отложений. Они делятся на несколько типов и отличаются, прежде всего, текстурными особенностями. На рисунке 6 приведены: 1) брекчированные радиоляриты, которые представлены округлыми карбонатизированными обломками в матриксе (рис. 6.6), 2) неконтрастные, без четких внутренних границ и границ с вмещающими породами (рис. 6.4), 3) радиоляриты с косой слоистостью (рис. 6.3), которые встречаются достаточно редко, 4) радиоляриты с волнистой и линзовидной слоистостью (рис. 6.2), встречающиеся чаще всего.

Радиолярии в породе часто длинными осями ориентированы по слоистости, местами отмечается свал скелетных

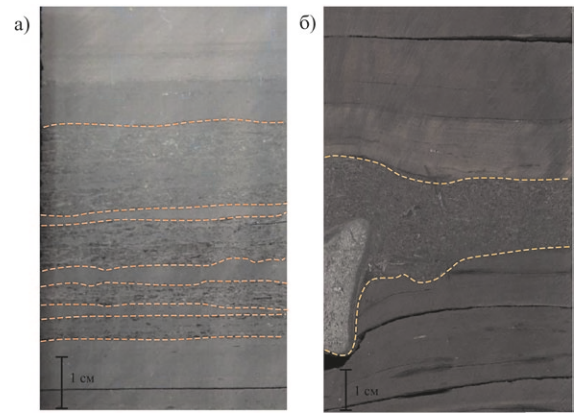


Рис. 5. Вид костеносных горизонтов БВУФ. Оранжевым пунктиром выделены границы конденсированных горизонтов: а) скопление нескольких горизонтов, б) единственный костеносный горизонт. Слева хорошо заметен фрагмент позвонка ихтиозавра.

остатков и игл радиолярий, ориентированных в одном направлении, вероятно – по течению. Морфологические особенности и распределение пластов радиоляритов в разрезах и по площади бассейна позволили предположить единую модель их формирования в «тени» подводного течения на перепаде скоростей (Хотылев и др., 2019). Механизм формирования РС отличается от процессов, описанных D.A.V Stow, R. G. Walker и другими, тем, что образует слои, состоящие только из скелетов радиолярий с очень небольшим количеством каких-либо минеральных примесей и хорошо иллюстрируется поведением тополиного пуха летом: при равномерном выпадении пуха на поверхность земли, его минимальные скопления наблюдаются там, где есть ветер, а максимальные там, где ветра нет.

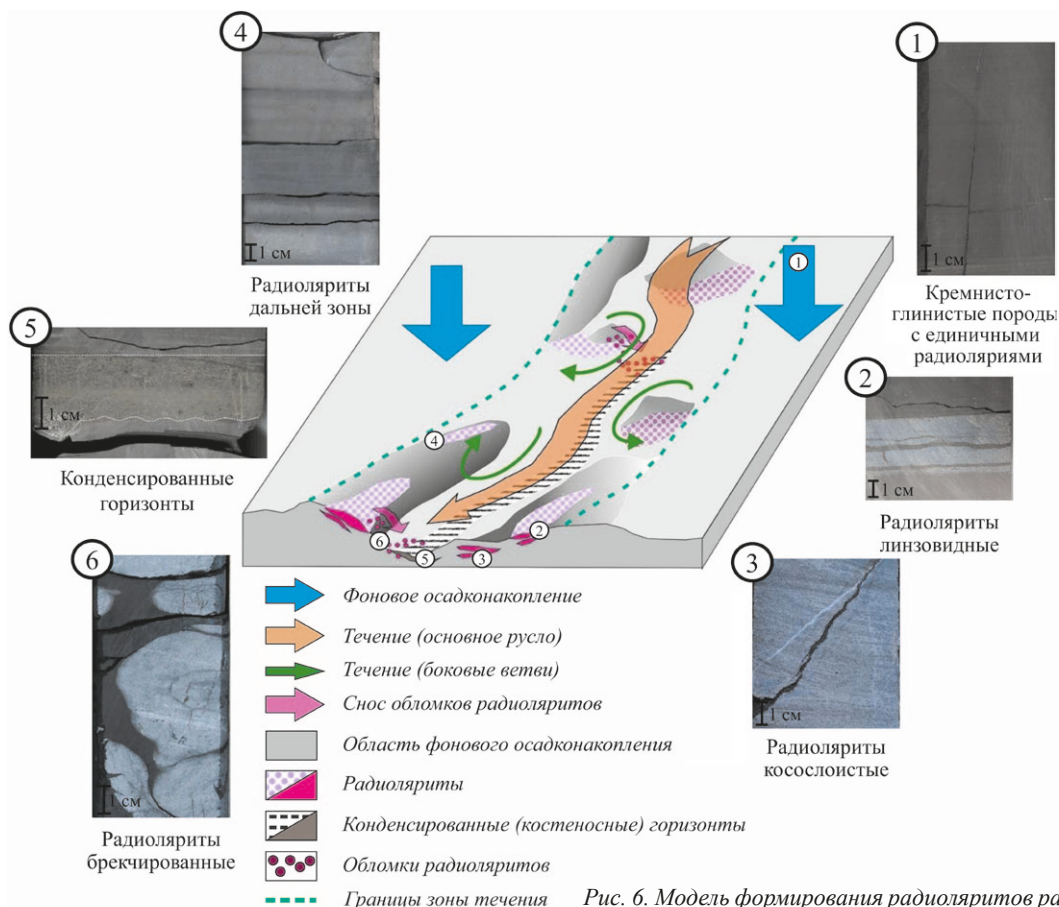


Рис. 6. Модель формирования радиоляритов различных типов

На схеме (рис. 6) оранжевым цветом показано основное направление течения, в стрессе которого идет размыв осадков с формированием КГ, а на периферии возникают скопления радиолярий, формирующие впоследствии слои. По мере удаления от оси течения, текстуры радиоляритов будут меняться с косослоистых на линзовидные, далее – на волнистые, и, наконец, на дистальные радиоляриты (рис. 6.4, 6.1) с неконтрастными границами. При смещении оси течения в случае перебива уже образовавшихся скоплений радиоляритов, появляются их брекчированные разности (рис. 6.6). Предположительная схема течений в баженовском море отражена в работе Захарова (Захаров, 2006 и др.). Аналогом такого течения может служить современный Гольфстрим, параметры которого сопоставимы с параметрами течения в баженовском море. Аналогичные процессы обнаружены в его краевых частях – в районе плато Блейк (восточное побережье США), где Dr. Anton Oleinik (Florida Atlantic University, устное сообщение) при глубинном погружении на подводном аппарате зафиксировал слои, располагающиеся на границе изменения скоростей течения на склоне подводного холма, имеющие достаточно большие мощности при протяженности в десятки метров и полностью состоящие только из остатков птеропод и раковинного планктона. Эти наблюдения являются подтверждением возможности формирования скоплений радиоляритовых остатков как результата деятельности течения в баженовском морском бассейне.

Альгинитовые слои (Булатов и др., 2019) (рис. 7) распространены преимущественно в центральных частях бассейна и имеют общую мощность не более 40 см. Их наличие систематически отмечается только в пределах четвертой пачки разреза. Некоторые исследователи (И.В. Панченко, М.В. Шалдыбин, Е.С. Кондрашева и др.) относят их к туфам или туффитам, однако, альгинитовые слои, хотя в них и присутствуют включения кварца и халцедона, состоят на 30–35% из альгинита (группа микрокомпонентов ископаемых углей, образовавшихся в результате преобразования низших растений и планктона). Параметры пиролиза ОВ слоев отличается высокими значениями водородного индекса, низкой преобразованностью и высоким отношением пиролизуемого углерода к остаточному (Bulatov et al., 2021). В отличие от ОВ всей толщи БВУФ, они представлены только единственным типом органического вещества. Учитывая их градиционную текстуру, предложена модель их формирования в процессе кратковременных вспышек цветения фитопланктона (Булатов и др., 2019; Bulatov et al., 2021). В момент максимального развития фитопланктона формируется

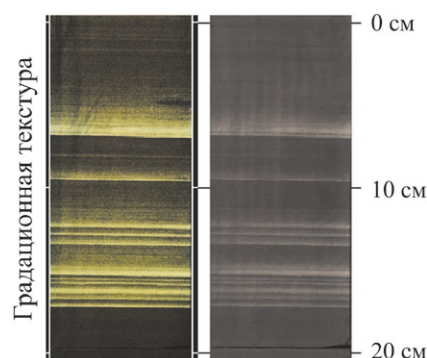


Рис. 7. Альгинитовые слои (Булатов, 2019; Bulatov et al., 2021) с характерной градиционной слоистостью (Фотографии колонок керна под: слева – ультрафиолетовым светом, справа – дневным светом)

основание альгинитового слоя. По мере потребления питательных веществ количество фитопланктона убывает, и его уменьшающееся количество в осадке формирует градиционную слоистость. После чего происходит новый вброс питательных веществ, и возникает следующая вспышка.

Вброс питательных веществ можно объяснить присутствием в слоях обломочных кварцевых зерен (Bulatov et al., 2021). Их наличие можно связать с выносом материала пылевыми бурями из пустынь южного побережья бассейна (Гольберт, 1986). В настоящее время аналогичные процессы наблюдаются в Атлантическом океане: во время песчаных бурь пыль из Сахары переносится на несколько тысяч километров и выпадает в Южной Америке, проходя путь более 2000 км. В то же время в баженовском бассейне перенос должен был составлять не более 500 км.

Модели седиментации БВУФ

В настоящий момент основные разбуриваемые месторождения как в БС, так и в ТС находятся на палеоподнятиях и их склонах. Поэтому, мы можем сформировать два типа моделей осадконакопления: в зоне островов (островной тип) и в зоне подводных поднятий (рис. 8).

На рисунке приведены геоморфологические профили через отложения БВУФ на разных месторождениях. На каждом профиле проведена корреляция шести основных

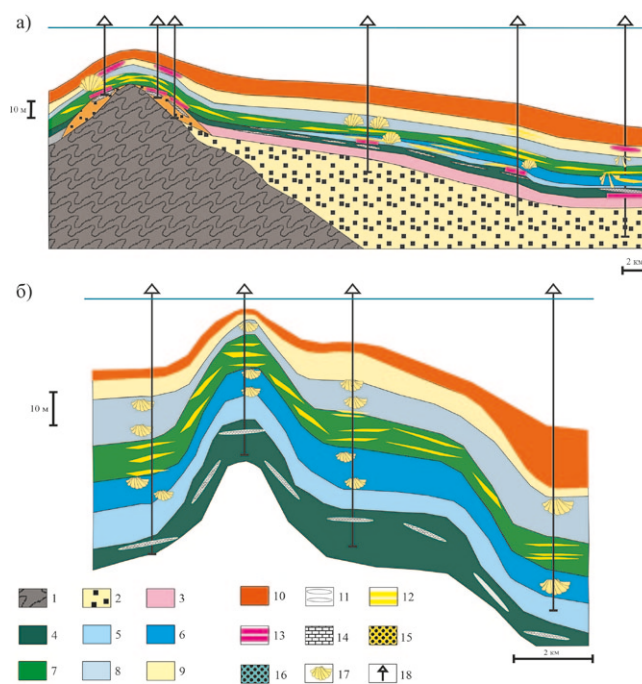


Рис. 8. Профили через отложения БВУФ, демонстрирующие особенности условий осадконакопления: а) на приостровных участках, б) на внутрибассейновых поднятиях. 1 – породы фундамента, 2 – терригенные юрские отложения, 3 – нижняя часть абалакской свиты, 4 – верхняя часть абалакской свиты, 5 – первая пачка БВУФ, 6 – вторая пачка БВУФ, 7 – третья пачка БВУФ, 8 – четвертая пачка БВУФ, 9 – пятая пачка БВУФ, 10 – шестая пачка БВУФ, 11 – карбонатные конкреции и стяжения абалакской свиты, 12 – прослои радиоляритов, 13 – прослои и конкреции фосфоритов, 14 – желваковые известняки васюганской и георгиевской свит, 15 – песчаники и гравелиты васюганской и георгиевской свит, 16 – глинисто-гауконитовые породы георгиевской свиты, 17 – раковинный детрит, 18 – скважина.

литологических пачек пород. Внутри каждой пачки выделены слагающие ее основные литотипы пород. Эти профили отражают латеральную и вертикальную изменчивость строения БВУФ на разных элементах структур.

Для островного типа (рис. 8а) характерно уменьшение количества пачек в разрезе по направлению к поднятию. На самом поднятии может отсутствовать почти вся нижняя часть в объеме одной, двух или трех пачек – за счет существования на вершинах поднятия аэральных обстановок в момент формирования этой части разреза. Осадконакопление БВУФ, в таком случае, будет начинаться с накопления третьей или четвертой пачки. При движении от приподнятых участков в глубину разрез будет наращивать толщину за счет отсутствовавших пачек, и будет увеличиваться их мощность. На островных разрезах шестая пиритовая или переходная глинистая пачка будут сохраняться в своем обычном облике. Мощность шестой пачки, соответствующей верхнетутлеимской подсвите, в целом выше, чем шестой пачки, соответствующей верхней переходной зоне в баженовской свите.

Для *внутрибассейновых поднятий* (рис. 8б) сокращение разрезов за счет отсутствия пачек не происходит. Внутрибассейновые поднятия будут слагаться всеми шестью пачками и будут выдержаны по мощности, или их толщина будет несколько увеличиваться в сторону впадин. В силу отсутствия благоприятных условий для существования бентоса могут отсутствовать отложения с двустворками, которые замещаются отложениями выше- или нижележащих пачек. Также для внутрибассейновых поднятий в их апикальных областях будет характерно развитие карбонатных включений в пятой пачке. Количество карбонатов в разрезе по направлению к погруженным участкам палеобассейна снижается.

В целом, можно определить следующие закономерности в палеогеографии баженовского моря:

- на островных участках пачки 1–3 могут отсутствовать в разрезе по причине аэральности экспозиции территории на момент осадконакопления;
- пачки с большим количеством двустворок (2 и 4 пачки) будут присутствовать только на внутрибассейновых поднятиях и фиксируют глубину и условия, благоприятные для развития этих моллюсков;
- пачка 5 обогащена карбонатными стяжениями только в пределах внутрибассейновых поднятий;
- пачка 6 в пределах внутрибассейновых впадин будет представлена существенно глинистыми разностями с малым количеством пирита;
- наибольшие мощности радиоляритов будут наблюдаться на внутрибассейновых поднятиях, как участках с наличием «теневых зон» на пути течения;
- наличие фосфоритов будет отмечаться только на склонах внутрибассейновых поднятий.

Важно отметить, что распределение и морфология пластов радиоляритов в третьей пачке независимо от рельефа морского дна, будет контролироваться положением относительно оси палеотечения. Наибольшей мощностью и выдержанностью состава характеризуются прослои радиоляритов в проксимальной зоне течения. Примером такой зоны может служить Усть-Тегусский участок Демьянского мегавала, где прослои радиоляритов имеют четкие границы, практически не содержат

глинистой компоненты, а их мощности достигают 3 м. По мере удаления от оси течения, в его дистальных частях, радиоляриты глинизируются, их мощности уменьшаются, литологические границы становятся нечеткими. Такие пласты многочисленны на Нижневартовском своде, изредка встречаются на Правдинской и других площадях. Радиоляриты будут отсутствовать в оси течения и за пределами зоны его влияния. Такую картину мы наблюдали на некоторых участках Средне-Шапшиской, Каменной, Урненской и других площадей.

Выводы

Высокоуглеродистые отложения, сформированные в морском баженовском бассейне, характеризующиеся повышенными (выше 2,5%) концентрациями аквагенного ОВ, рассмотрены как единый комплекс отложений БВУФ. Границы БВУФ выделяются не на биостратиграфической основе, а по повышенной концентрации ОВ, что на диаграммах радиоактивного каротажа выражается значениями естественной радиоактивности, превышающими 16 мкР/ч. БВУФ слагается нефтематеринскими породами и является нетрадиционным высокоуглеродистым резервуаром, притоки нефти в котором чаще всего приурочены к пластам кремнистого, карбонатного и фосфатного состава.

В строении БВУФ как в баженовской, так и в тутлеимской свитах выделяются шесть пачек, нижние пять из которых имеют близкий стратиграфический диапазон, а верхняя шестая пачка, соответствующая верхнетутлеимской подсвите тутлеимской свиты и верхней переходной пачке баженовской свиты отличается по возрасту. Методами ГИС нижние три пачки неразделимы, так как имеют схожий литологический состав. Четвертая, пятая и шестая пачки выделяются достаточно надежно, поскольку характеризуются индивидуальными отличиями состава слагающих их пород.

В БВУФ как в баженовской, так и в тутлеимской свитах пласты фосфоритов встречаются в основании разрезов и в пятой пачке, преимущественно на склонах внутрибассейновых поднятий. Их образование, вероятно, связано с процессами апвеллинга. На погруженных участках рельефа фосфоритов не выявлено.

Биогенные карбонаты могут присутствовать во всех пачках, кроме первой. В породах второй и четвертой пачек они образованы скоплениями двустворчатых моллюсков, которые приурочены к ракушняковым банкам. В пятой пачке источником карбоната являются скопления кокколитофорид, максимальные количества которых отмечаются над внутрибассейновыми поднятиями. На этих же участках в пятой пачке присутствуют прослои спикуловых известняков. И в кокколитовых породах, и в спикуловых известняках могут формироваться коллекторы с повышенной пористостью (до 8%). В шестой пачке биогенные карбонаты имеют структуру «con-in-con» и также приурочены к вершинам палеоподнятий.

Разнообразие биогенных карбонатных образований в верхней части разрезов обусловлено мелководностью обстановок седиментации на возвышенных участках рельефа морского дна. Количество карбонатов в разрезе по направлению к погруженным участкам палеобассейна снижается.

Пласты кремнистого состава, образованные скоплением скелетов радиолярий, встречаются в первой и третьей пачках и имеют ограниченное площадное распространение. Их распределение и морфология в третьей пачке будет контролироваться положением относительно оси палеотечения. Наибольшей мощностью и выдержанностью состава характеризуются прослои радиоляритов в проксимальной зоне течения. Радиоляриты отсутствуют в разрезах в осевой части течения и за пределами зоны его влияния.

На основании выявленных закономерностей сформированы две модели седиментации отложений БВУФ – островная и подводных поднятий.

Модели седиментации отражают вертикальную и латеральную изменчивость каждой из шести пачек, составляющих БВУФ, выраженную в полноте их разреза и наличии в составе пачек соответствующих литотипов.

Выявленные закономерности вертикальной и латеральной изменчивости отложений БВУФ в зоне развития баженовской и тутлеймской свит позволяют прогнозировать выдержанность и свойства основных литологических пластов, в том числе тех, с которыми часто связана промышленная нефтеносность нетрадиционного резервуара.

Литература

- Авраменко Э.Б., Грищенко М.А., Ахмадишин А.Т., Кудаманов А.И., Смышляева М.Д., Кузьмина С.С., Маринов В.А., Потапова А.С. (2019). Практическое применение геохимических индикаторов для уточнения обстановок осадконакопления в отложениях бажено-абалакского комплекса Красноленинского района. *Российская нефтегазовая техническая конференция SPE-2019*. Москва.
- Алексеев А.Д. (2014). Баженовская свита: в поисках большой сланцевой нефти на верхнем Салыме. *Роктех*, 35, с. 14–27.
- Баженова О.К., Бурлин Ю.К., Соколов Б.А., Хаин В.Е. (2000). Геология и геохимия нефти и газа. Москва: Издательство МГУ, 384 с.
- Балушкина Н.С. (2012). Литофизическая типизация и нефтеносность пород баженовского горизонта в зоне сочленения Сургутского и Красноленинского сводов. *Дис. канд. геол.-мин. наук*. Москва, 187 с.
- Балушкина Н.С., Волянская В.В., Осипов С.В., Хотылев О.В., Калмыков Г.А. (2021). Системный подход и комплексирование исследований при моделировании свойств и прогнозе нефтегазонасности баженовской высокоуглеродистой формации в Западной Сибири. *Нефтяное хозяйство*, 4, с. 34–39.
- Батурин Г.Н. (1988). Фосфоритонасность окраин океанов. *Литология и полезные ископаемые*, 2, с. 25–36.
- Белкин В.И., Ефремов Е.П., Каптелин Н.Д. (1983). Модель коллекторов нефти баженовской свиты Салымского месторождения. *Нефтяное хозяйство*, 10, с. 27–31.
- Брадучан Ю.В., Гурари Ф.Г., Захаров В.А. и др. (1986). Баженовский горизонт Западной Сибири (стратиграфия, палеогеография, экосистема, нефтеносность). Новосибирск: Наука, 216 с.
- Булатов Т.Д., Козлова Е.В., Спасенных М.Ю., Леушина Е.А., Морозов Н.В. (2019). Сапропелитовые прослои в отложениях баженовской свиты. *Мат. 21-й конф. по вопросам геологоразведки и разработки месторождений нефти и газа «Геомодель 2019»*. Геленджик.
- Вишневская В.С., Гатовский Ю.А., Козлова В.А. (2018). Радиоляриевый биогоризонт *Parvicingula khabakovi*-*Williriedellum salyicum* баженовской свиты Западной Сибири (берриас). Современная микропалеонтология – проблемы и перспективы. Ред. Афанасьева М.С., Алексеев А.С. Москва: ПИН РАН, с. 209–212.
- Вишневская В.С. (2019). Ревизия и новое описание вида *Williriedellum salyicum* Kozlova, 1983 (*Radiolaria*, ранний мел, берриас). *Палеонтол. журн.*, 4, с. 14–19.
- Вишневская В.С., Амон Э.О., Гатовский Ю.А. (2020a). Радиоляриевая биостратиграфия баженовского горизонта (верхняя юра-нижний мел) Западной Сибири. *Стратиграфия. Геологическая корреляция*, 28(6), с. 105–124.
- Вишневская В.С., Гатовский Ю.А., Рогов М.А. (2020b). Кимеридж-ранневожжская биота Ямала (Арктическая Сибирь) – относительно тепловодная или эпизод потепления? *Тез. докладов конф.: ПАЛЕОСТРАТ-2020*.
- Ред. Алексеев А.С., Назарова В.М. Москва: Палеонтол. ин-т им. А.А. Борисяка РАН, с. 11–12.
- Гольберт А.В. (1986). Региональная палеоклиматология Сибири. (Юра-палеоген. Методы, результаты). *Дисс. доктора геол.-мин. наук*. Новосибирск: СНИИГГиМС, 396 с.
- Грабовская Ф.Р., Жуков В.В., Заграновская Д.Е. (2018). Строение и условия формирования баженовского горизонта Пальяновской площади Западной Сибири. *Литология и полезные ископаемые*, 3, с. 195–206.
- Захаров В.А. (2006). Условия формирования волжско-берриаской высокоуглеродистой баженовской свиты Западной Сибири по данным палеоэкологии. Эволюция биосферы и биоразнообразия: к 70-летию А.Ю. Розанова. Москва: Товарищ науч. Изданий. К.М.К., с. 552–568.
- Захаров В.А., Шурыгин Б.Н. (1983). Географическая дифференциация морских двусторчатых моллюсков в юре и раннем мелу Арктической зоогеографической области. Мезозой Советской Арктики. Новосибирск: Наука, вып. 555, с. 72–94.
- Захаров В.А., Шурыгин Б.Н., Курушин Н.И., Меледина С.В., Никитенко Б.Л. (2002). Мезозойский океан в Арктике: палеонтологические свидетельства. *Геология и геофизика*, 43(2), с. 155–181.
- Калмыков Г.А., Балушкина Н.С. (2017). Модель нефтенасыщенности порового пространства пород баженовской свиты Западной Сибири и ее использование для оценки ресурсного потенциала. Москва: ГЕОС, 246 с.
- Карта размещения скоплений нефти в баженовской свите на территории Западно-Сибирской нефтегазовой провинции. (2009). Под ред. ИГиРГИ. М 1:100000.
- Кругликова С.Б. (1988). Радиолярии (*Polycystina*) из донных осадков Арктики. *Известия Академии наук СССР. Сер.*, 1, с. 92–101.
- Панченко И.В., Вишневская В.С., Калмыков Г.А., Барабошкин Е.Ю. (2013). Новые данные по биостратиграфии абалакской и баженовской свит Широкого Приобья, полученные на основе комплексного изучения макро- и микрофаунистических остатков. *Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии: VII Всероссийское Совецание*, с. 162–165.
- Панченко И.В., Казмолкин В.А., Латышев А.В., Соболев И.Д. (2015). Туфы и туффиты в баженовском горизонте (Западная Сибирь). *Мат. VIII Всерос. литологического совещания «Эволюция осадочных процессов в истории Земли»*. Москва: РГУ нефти и газа им. Губкина, т. I, 492 с.
- Панченко И.В., Немова В.Д. (2017). Контуристы в баженовских отложениях Западной Сибири: формирование, распространение и практическое значение. *Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии. VII Всероссийское Совецание*, с. 153–157.
- 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.
- Рогов М.А., Бизиков В.А., Мироненко А.А., Ипполитов А.П., Панченко И.В. (2017). Мегаонихиты (*Coleoidea*, *Cephalopoda*) в поздней юре и раннем мелу Северного полушария. *Юрская система России: проблемы стратиграфии и палеогеографии. VII Всероссийское совещание*. Москва: ГИН РАН, с. 192–196.
- Скворцов М.Б., Кузнецов Г.В., Сурова Н.Д., Копилевич Е.А. (2018). Новые данные о размещении нефтегазопродуктивных зон баженовских отложений Западной Сибири. *Геология нефти и газа*, 2, с. 89–96.
- Стратиграфический кодекс России. (2006). С-Петербург: ВСЕГЕИ, 95 с.
- Сухарев А.И., Шурыгин Б.Н., Гордин А.И. (2006). Исследование ядерного материала и пластовых флюидов по Хальмерпаутинской поисково-оценочной скважине №2099 «ТНП «Ямалнефтегаз». Когалым: ООО «КогалымНИПИнефть», 3 кн., 767 с.
- Тугарова М.А. (2014). Микробиолиты триаса архипелага Шпицберген. *Труды ВНИИ Океангеология*, т. 227, 198 с.
- Хабаров В.В., Нелепченко О.М., Волков Е.Н., Барташевич О.В. (1980). Уран, калий и торий в битуминозных породах баженовской свиты Западной Сибири. *Советская геология*, 10, с. 94–105.
- Хотылев О.В., Балушкина Н.С., Вишневская В.С., Коробова Н.И., Калмыков Г.А., Рослякова А.С. (2019). Модель формирования радиоляритовых слоев в баженовской свите Западной Сибири. *Вестник Московского Университета. Серия 4. Геология*, 1, с. 89–95.
- Шпильман А.В., Шубина А.В. (2019). Итоги применения ВМР по подсчету запасов нефти в трещинных и трещинно-поровых коллекторах в отложениях баженовской толщи Западно-Сибирской нефтегазовой провинции и подготовка новой редакции. *Российская техническая нефтегазовая конференция SPE-2019*. Москва.
- Шумилов И.Х. (2018). Экзотические отложения в девонской толще среднего Тимана. *Известия Коми научного центра УрО РАН*, 1(33), с. 60–67.

Щепетова Е.В., Панченко И.В., Барабошкин Е.Ю., Немова В.Д., Смирнова М.Е., Зуйкова М.В. (2015). Штурмогенные отложения в баженовской свите Фроловской мегападины. *Материалы VIII Всероссийского литологического совещания*, с. 312–314.

Эдер В.Г., Балущкина Н.С., Замирайлова А.Г., Фомин А.Н. (2021). Литолого-геохимические свидетельства катагенетических преобразований чёрных сланцев на примере баженовской свиты Западной Сибири. *Вестник Московского Университета. Серия 4. Геология*, 1, с. 58–70.

Aigner T. (1982). Calcareous tempestites: Storm-dominated stratification in upper muschelkalk limestones (middle Trias, SW-Germany). G. Einsele and A. Seilacher (Eds.). *Cyclic and Event Stratification*. Berlin: Springer, pp. 180–198.

Bulatov T., Kozlova E., Leushina E., Panchenko I., Pronina N., Voropaev A., Morozov N., Spasennykh M. (2021). Alginite-rich layers in the Bazhenov deposits of the Western Siberia Geosciences. (in press)

Rogers R., Eberth A., Fiorillo R. (2007). Bonebeds: Genesis, analysis, and paleobiological significance. Chicago: University of Chicago Press, 499 p.

Stow D.A.V., Faugères, J.-C., Gonthier E., Cremer M., Llave E., Hernandez-Molina F.J.; Somoza L., Diaz-del-Rio V. (2002). Faro-Albufeira drift complex, northern Gulf of Cadiz. *Deep-water contourite systems: Modern drifts and ancient series, seismic and sedimentary characteristics*. Stow, D.A.V. et al. (Ed.). *Geological Society Memoir*, 22, pp. 137–154.

Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources. An Assessment of 137 Shale Formations in 41 Countries Outside the United States. <http://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/>

Сведения об авторах

Олег Владимирович Хотылев – кандидат геол.-мин. наук, ведущий геолог, Фонд «Национальное Интеллектуальное развитие»

Россия, 119192, Москва, Ломоносовский пр., д. 27, к. 1

Юрий Артурович Гатовский – кандидат геол.-мин. наук, старший научный сотрудник кафедры палеонтологии, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, д. 1

Наталья Сергеевна Балущкина – кандидат геол.-мин. наук, научный сотрудник кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, д. 1
e-mail: nataliabalushkina@mail.ru

Юлия Александровна Коточкова – магистрант кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, д. 1

Наталья Ивановна Коробова – ассистент, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, д. 1

Мария Михайловна Фомина – старший геолог, Фонд «Национальное интеллектуальное развитие»

Россия, 119234, Москва, Ломоносовский пр., д. 27, к. 1

Евгения Владимировна Карпова – кандидат геол.-мин. наук, доцент кафедры нефтегазовой седиментологии и морской геологии, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, д. 1

Георгий Александрович Калмыков – доктор геол.-мин. наук, профессор кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, д. 1

Статья поступила в редакцию 11.03.2021;

Принята к публикации 13.05.2021; Опубликовано 25.05.2021

IN ENGLISH

ORIGINAL ARTICLE

Models of sedimentation of the Bazhenov High-Carboniferous Formation in the zone of the Tuttleim and Bazhenov Formations

O.V. Khotylev¹, Yu.A. Gatovsky², N.S. Balushkina^{2*}, Yu.A. Kotochkova²,
N.I. Korobova², M.M. Fomina¹, E.V. Karpova², G.A. Kalmykov²

¹National Intellectual Development Foundation, Moscow, Russian Federation

²Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

*Corresponding author: Natalia S. Balushkina, e-mail: nataliabalushkina@mail.ru

Abstract. A different approach to the typing of the section of the Bazhenov Formation is presented – the identification of the reference section of the Bazhenov high-carbon formation (BHCF). Six packs were distinguished according to lithological and paleontological features, and their general characteristics were given. Also, indicators of the formation conditions are described, that allow to reconstruct the history and evolution of the basin, e. g. tuff and bone-bed horizons, alginite-rich layers, radiolarite layers, spicular limestones and limestones with a «con-in-con» texture, intensely pyritized layers, packs with an abundance of bivalves. Two types of sedimentation models are formed and described: island and intra-basin upland. On the basis of new data and identified features of the paleogeography of the Bazhenov Sea, a general model of the formation of BHCF deposits in the development zone of the Bazhenov and Tuttleim formations is proposed.

Keywords: West Siberian basin, Bazhenov formation, Tuttleim formation, sedimentation model, types of sections

Recommended citation: 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 Tuttleim and Bazhenov Formations. *Georesources = Georesources*, 23(2), pp. 120–131. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2021.2.11>

References

- Aigner T. (1982). Calcareous tempestites: Storm-dominated stratification in upper muschelkalk limestones (middle Trias, SW-Germany). G. Einsele and A. Seilacher (Editors). *Cyclic and Event Stratification*. Berlin: Springer, pp. 180–198.
- Alekseev A.D. (2014). Bazhenov Formation: In Search of Large Shale Oil in the Upper Salym. *Rocktech*, 35, pp. 14–27. (In Russ.)
- Avramenko E.B., Grishchenko M.A., Akhmadishshin A.T., Kudamanov A.I., Smyshlyayeva M.D., Kuzmina S.S., Marinov V.A., Potapova A.S. (2019). Practical application of geochemical indicators to clarify the conditions of sedimentation in the Bazhenov-Abalak complex of the Krasnoleninsky region. *Russian Petroleum Technology Conference SPE-2019*. Moscow. (In Russ.)
- Balushkina N.S. (2012). Lithophysical typification and oil content of rocks of the Bazhenov horizon in the junction zone of the Surgut and Krasnoleninsky arches. *Cand. geol.-min. sci. diss.* Moscow, 187 p. (In Russ.)
- Balushkina N.S., Volyanskaya V.V., Osipov S.V., Khotylev O.V., Kalmykov G.A. (2021). A systematic approach and integration of studies in modeling the properties and forecasting the oil and gas potential of the Bazhenov high-carbon formation in Western Siberia. *Neftyanoe Khozyaistvo=Oil Industry*, 4, pp. 34–39. (In Russ.)
- Baturin G.N. (1988). The phosphorite content of the ocean margins. *Lithology and Mineral Resources*, 2, pp. 25–36. (In Russ.)
- Bazhenova O.K., Burlin Yu.K., Sokolov B.A., Khain V.E. (2000). *Geology and geochemistry of oil and gas*. Moscow: Moscow State University Publ., 384 p. (In Russ.)
- Belkin V.I., Efremov E.P., Kaptelinin N.D. (1983). Model of oil reservoirs

of the Bazhenov formation of the Salym field. *Neftyanoe Khozyaistvo=Oil Industry*, 10, pp. 27–31. (In Russ.)

Braduchan Yu.V., Gurari F.G., Zakharov V.A. et al. (1986). Bazhenov horizon of Western Siberia (stratigraphy, paleogeography, ecosystem, oil-bearing capacity). Novosibirsk: Nauka, 216 p. (In Russ.)

Bulatov T., Kozlova E., Leushina E., Panchenko I., Pronina N., Voropaev A., Morozov N., Spasnykh M. (2021). Alginite-rich layers in the Bazhenov deposits of the Western Siberia Geosciences. (in press)

Bulatov T.D., Kozlova E.V., Spasnykh M.Yu., Leushina E.A., Morozov N.V. (2019). Sapropelite interlayers in the sediments of the Bazhenov Formation. *Proc. 21st Conf. on geological exploration and development of oil and gas fields "Geomodel 2019"*. Gelendzhik. (In Russ.)

Eder V.G., Balushkina N.S., Zamirailova A.G., Fomin A.N. (2021). Lithological and geochemical evidence of catagenetic transformations of black shales on the example of the Bazhenov Formation in Western Siberia. *Moscow University Bulletin. Series 4. Geology*, 1, pp. 58–70. (In Russ.)

Golbert A.V. (1986). Regional paleoclimatology of Siberia. (Jurassic-Paleogene. Methods, results). *Dr. geol.-min. sci. diss.* Novosibirsk: SNIIGiMS, 396 p. (In Russ.)

Grabovskaya F.R., Zhukov V.V., Zagranovskaya D.E. (2018). Structure and Formation Conditions of the Bazhenovo Horizon in the Pal'yanovo Area, West Siberia. *Lithology and Mineral Resources*, 53, pp. 179–189. <https://doi.org/10.1134/S0024490218030021>

Kalmykov G.A., Balushkina N.S. (2017). A model of oil saturation in the pore space of the rocks of the Bazhenov formation in Western Siberia and its use for assessing the resource potential. Moscow: GEOS, 246 p. (In Russ.)

Khabarov V.V., Nelepchenko O.M., Volkov E.N., Bartashevich O.V. (1980). Uranium, potassium and thorium in bituminous rocks of the Bazhenov formation in Western Siberia. *Sovetskaya Geologiya*, 10, pp. 94–105. (In Russ.)

Khotylev O.V., Balushkina N.S., Vishnevskaya V.S., Korobova N.I., Kalmykov G.A., Roslyakova A.S. (2019). A Model of the Accumulation of Radiolarite Layers in the Bazhenov Formation of West Siberia. *Moscow University: Geology Bulletin*, 74, pp. 206–211. <https://doi.org/10.3103/S0145875219020054>

Kruglikova S.B. (1988). Radiolarians (Polycystina) from Arctic bottom sediments. *Bulletin of the USSR Academy of Sciences*, 1, pp. 92–101. (In Russ.)

Map of the location of oil accumulations in the Bazhenov Formation in the West Siberian oil and gas province. (2009). Ed. IGIRGI. Scale 1: 100000. (In Russ.)

Panchenko I.V., Kazmolkin V.A., Latyshev A.V., Sobolev I.D. (2015). Tuffs and tuffites in the Bazhenov horizon (Western Siberia). *Proc. VIII All-Russ. lithological meeting: Evolution of sedimentary processes in the history of the Earth*. Moscow: Gubkin Russian State University of Oil and Gas, vol. I, 492 p. (In Russ.)

Panchenko I.V., Nemova V.D. (2017). Contours in the Bazhenov deposits of Western Siberia: formation, distribution and practical significance. *Jurassic system of Russia: problems of stratigraphy and paleogeography: VII All-Russian Meeting*, pp. 153–157. (In Russ.)

Panchenko I.V., Vishnevskaya V.S., Kalmykov G.A., Baraboshkin E.Yu. (2013). New data on biostratigraphy of the Abalak and Bazhenov formations of the Shirotny Ob region, obtained on the basis of a comprehensive study of macro- and microfaunistic remains. *Jurassic system of Russia: problems of stratigraphy and paleogeography: VII All-Russ. Meet.*, pp. 162–165. (In Russ.)

Predtechenskaya E.A., Krol L.A., Gurari F.G., Sapyanik V.V., Perosio G.N., Malyushko L.D. (2006). On the genesis of carbonates in the Bazhenov formation in the central and southeastern regions of the West Siberian plate. *Litosfera=Lithosphere*, 4, pp. 131–148. (In Russ.)

Rogers R., Eberth A., Fiorillo R. (2007). Bonebeds: Genesis, analysis, and paleobiological significance. Chicago: University of Chicago Press, 499 p.

Rogov M.A., Bizikov V.A., Mironenko A.A., Ippolitov A.P., Panchenko I.V. (2017). Megaonichites (Coleoidea, Cephalopoda) in the Late Jurassic and Early Cretaceous of the Northern Hemisphere. *Jurassic system of Russia: problems of stratigraphy and paleogeography: VII All-Russian meeting*. Moscow: GIN RAN, pp. 192–196. (In Russ.)

Shchepetova E.V., Panchenko I.V., Baraboshkin E.Yu., Nemova V.D., Smirnova M.E., Zuikova M.V. (2015). Storm deposits in the Bazhenov Formation of the Frolov megadepression. *Proc. of the VIII All-Russian Lithological Meeting*, pp. 312–314. (In Russ.)

Shpilman A.V., Shubina A.V. (2019). Results of the application of SMR for calculating oil reserves in fractured and fractured-porous reservoirs in the sediments of the Bazhenov strata of the West Siberian oil and gas province and preparation of a new edition. *Russian Technical Oil and Gas Conference SPE-2019*. Moscow. (In Russ.)

Shumilov I.Kh. (2018). Exotic deposits in the Devonian strata of the middle Timan. *Izvestiya Komi nauchnogo tsentra UrO RAN*, 1(33), pp. 60–67. (In Russ.)

Skvortsov M.B., Kuznetsov G.V., Surova N.D., Kopilevich E.A. (2018). New data on the location of oil and gas producing zones of the Bazhenov deposits in Western Siberia. *Geologiya Nefti i Gaza = Russian Oil And Gas Geology*, 2, pp. 89–96. (In Russ.)

Stow D.A.V., Faugères, J.-C., Gonthier E., Cremer M., Llave E.,

Hernandez-Molina F.J., Somoza L., Diaz-del-Rio V. (2002). Faro-Albufeira drift complex, northern Gulf of Cadiz. *Deep-water contourite systems: Modern drifts and ancient series, seismic and sedimentary characteristics*. Stow, D.A.V. et al. (Ed.). *Geological Society Memoir*, 22, pp. 137–154.

Stratigraphic Code of Russia. (2006). St. Petersburg: VSEGEI, 95 p. (In Russ.)

Sukharev A.I., Shurygin B.N., Gordin A.I. (2006). Study of core material and reservoir fluids in the Khalmerpayutinskaya prospecting and appraisal well No. 2099 "TPP" Yamalneftegaz. Kogalym: KogalymNIPIneft, 3 books, 767 p. (In Russ.)

Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources. An Assessment of 137 Shale Formations in 41 Countries Outside the United States. <http://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/>

Tugarova M.A. (2014). Microbioliths of the Triassic archipelago of Svalbard. *Proc. All-Russian Research Institute of Oceanology*, v. 227, 198 p. (In Russ.)

Vishnevskaya V.S. (2019). Revision of the Early Cretaceous Radiolarian Species *Williriedellum salymicum* Kozlova. *Paleontological journal*, 53, pp. 334–340. <https://doi.org/10.1134/S0031030119040142>

Vishnevskaya V.S., Amon E.O., Gatovsky Yu.A. (2020a). Radiolarian Biostratigraphy of the Bazhenovo Regional Substage (Upper Jurassic–Lower Cretaceous) of Western Siberia. *Stratigraphy. Stratigraphy and Geological Correlation*, 28(6), pp. 665–683. <https://doi.org/10.1134/S0869593820060106>

Vishnevskaya V.S., Gatovsky Yu.A., Kozlova V.A. (2018). Radiolarian biohorizon *Parvicingula khabakovi* – *Williriedellum salymicum* of the Bazhenov Formation in Western Siberia (Berriasian). *Modern micropaleontology – problems and prospects*. Ed. Afanasyeva M.S., Alekseev A.S. Moscow: PIN RAS, pp. 209–212. (In Russ.)

Vishnevskaya V.S., Gatovsky Yu.A., Rogov M.A. (2020b). Kimmeridgian-early Volga biota of Yamal (Arctic Siberia) – relatively warm water or an episode of warming? *Abstracts: PALEOSTRAT-2020*. Ed. Alekseev A.S., Nazarova V.M. Moscow: Borisyak Paleontol. Institute, pp. 11–12. (In Russ.)

Zakharov V.A. (2006). Formation conditions of the Volga-Berriasian high-carbon Bazhenov formation in Western Siberia according to paleoecological data. *Evolution of the biosphere and biodiversity: to the 70th anniversary of A.Yu. Rozanov*. Moscow, pp. 552–568. (In Russ.)

Zakharov V.A., Shurygin B.N. (1983). Geographic differentiation of marine shells in the Jurassic and Early Cretaceous of the Arctic zoogeographic area. Mesozoic Soviet Arctic. Novosibirsk: Nauka, no. 555, pp. 72–94. (In Russ.)

Zakharov V.A., Shurygin B.N., Kurushin N.I., Meledina S.V., Nikitenko B.L. (2002). Mesozoic Ocean in the Arctic: Paleontological Evidence. *Geologiya Nefti i Gaza = Russian Oil And Gas Geology*, 43(2), pp. 155–181. (In Russ.)

About the Authors

Oleg V. Khotylev – PhD (Geology and Mineralogy), Leading geologist, National Intellectual Development Foundation
27, build. 1, Lomonosovsky ave., Moscow, 119192, Russian Federation

Yury A. Gatovsky – PhD (Geology and Mineralogy), Senior Researcher of the Paleontology Department, Lomonosov Moscow State University
1, Leninskie gory, Moscow, 119234, Russian Federation

Natalia S. Balushkina – PhD (Geology and Mineralogy), Researcher, Petroleum Geology Department, Lomonosov Moscow State University.
1, Leninskie gory, Moscow, 119234, Russian Federation

Yulia A. Kotochkova – Graduate student, Petroleum Geology Department, Lomonosov Moscow State University
1, Leninskie gory, Moscow, 119234, Russian Federation

Natalia I. Korobova – Assistant, Petroleum Geology Department, Lomonosov Moscow State University
1, Leninskie gory, Moscow, 119234, Russian Federation

Maria M. Fomina – Senior Geologist, National Intellectual Development Foundation
27, build. 1, Lomonosovsky ave., Moscow, 119192, Russian Federation

Evgenia V. Karpova – PhD (Geology and Mineralogy), Associate Professor, Department of Petroleum Sedimentology and Marine Geology, Lomonosov Moscow State University
1, Leninskie gory, Moscow, 119234, Russian Federation

Georgy A. Kalmykov – DSc (Geology and Mineralogy), Professor, Department of Petroleum Sedimentology and Marine Geology, Lomonosov Moscow State University
1, Leninskie gory, Moscow, 119234, Russian Federation

Manuscript received 11 March 2021;
Accepted 13 May 2021; Published 25 May 2021