

УДК 553.982: 553.983
DOI: 10.18799/24131830/2025/1/4606
Шифр специальности ВАК: 1.6.11

Аномальный разрез баженовской свиты в пределах уватского нефтегазоносного района

Д.А. Староселец¹ ✉, П.В. Смирнов², А.В. Тренкин³

¹ ООО «ГудГео», Россия, г. Тюмень

² Казанский федеральный университет, Россия, г. Казань

³ ООО «Газпромнефть-Хантос», Россия, г. Ханты-Мансийск

✉ d_star1997@mail.ru

Аннотация. **Актуальность** заключается в необходимости приобщения к разработке неосвоенных отложений баженовского горизонта на хорошо разведанных и имеющих развитую инфраструктуру территориях. **Объекты:** отложения аномального разреза баженовской свиты (J_3-K_{1bn}) Западной Сибири в пределах Уватского нефтегазоносного района. **Цель:** уточнение границ распространения и параметризация строения отложений аномального разреза баженовской свиты в пределах Уватского нефтегазоносного района посредством проведения комплексного анализа результатов изучения кернового материала, данных ГИС и сейсморазведки, а также оценка выявленных особенностей отложений на предмет согласованности с существующими концепциями формирования аномального разреза баженовской свиты. **Методы:** фотоматериалы по трем керновым скважинам и результаты макро- и микроописания пород, измерения естественной радиоактивности на керне методом спектрометрического гамма-каротажа, результаты палинологических и микрофаунистических исследований. Использованы данные геофизических исследований скважин и материалы 3D-сейсморазведки. Материалы ГИС представлены 154 скважинами и включают следующие методы: собственной поляризации, гамма-каротаж, индукционный, нейтронный и боковой каротаж. **Результаты.** Выполнен анализ отложений баженовской свиты в пределах Уватского нефтегазоносного района. Произведён литолого-петрографический анализ отложений свиты в шлифах, и определён вклад радиоактивных элементов в общую естественную радиоактивность, на основе полученных результатов, в комплексе с данными ГИС, баженовская свита дифференцирована на породы глинисто-кремниевого состава, глинисто-кремниевое-карбонатного, аргиллиты и песчано-алевритовые породы. Выполнен анализ биостратиграфических исследований образцов баженовской свиты. Отложения баженовской свиты датированы титонским (волжским) ярусом, часть представлена смешанным составом, содержащим как типичное для баженовской свиты аморфное органическое вещество, так и валанжинские либо валанжин-готтеривские палиноформы хорошей сохранности. Уточнена граница распространения аномального разреза баженовской свиты в Уватском нефтегазоносном районе: в сравнении с ранее установленными контурами распространения восточная граница смещена на запад, из-за чего общая территория развития аномального разреза уменьшилась почти в два раза; контуры северо-восточной границы аномального разреза баженовской свиты подвергнуты ревизии и смещены в юго-западном направлении. Полученные данные указывают, что причиной формирования аномального разреза баженовской свиты стало внедрение отложений валанжин-готтеривского возраста в титон-берриасские отложения протобаженитов, что подтверждает геомеханическая модель формирования аномального разреза баженовской свиты.

Ключевые слова: баженовская свита, аномальный разрез баженовской свиты, Западная Сибирь, Уватский нефтегазоносный район

Благодарности: Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной в рамках государственной поддержки Казанского (Приволжского) федерального университета в целях повышения его конкурентоспособности среди ведущих мировых научных центров.

Для цитирования: Староселец Д.А., Смирнов П.В., Тренкин А.В. Аномальный разрез баженовской свиты в пределах уватского нефтегазоносного района // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2025. – Т. 336. – № 1. – С. 108–122. DOI: 10.18799/24131830/2025/1/4606

UDC 553.982: 553.983

DOI: 10.18799/24131830/2025/1/4606

Bazhenov formation anomalous section within the Uvat oil and gas bearing area

D.A. Staroselets¹✉, P.V. Smirnov², A.V. Trenkin³

¹ GoodGeo LLC, Tyumen, Russian Federation

² Kazan Federal University, Kazan, Russian Federation

³ Gazpromneft-Khantos LLC, Khanty-Mansiysk, Russian Federation

✉ d_star1997@mail.ru

Abstract. Relevance. The need to bring undeveloped sediments of the Bazhenov horizon to development in areas that are well explored and have developed infrastructure. **Objects.** Anomalous section deposits of the Bazhenov Formation (J_3-K_{1bn}) of Western Siberia within the Uvat oil and gas bearing region. **Aim.** To ascertain the spread boundaries and structure parametrization of sediments of the Bazhenov formation anomalous section within the Uvat oil and gas bearing region through an integrated analysis of the core material study results, GIS and seismic data. **Methods.** Photomaterials of three core samples and the results of macro- and micro-description of rocks, measurement of natural radioactivity on the core by the spectrometric gamma-ray logging, palynological and microfaunistic studies. To clarify the structure of the Bazhenov formation, geophysical well surveys and 3D seismic data were used. The logging materials are represented by 154 wells and include the following methods: intrinsic polarisation, gamma ray logging, induction, neutron and lateral logs. **Results.** The authors have carried out the analysis of the Bazhenov formation sediments within the Uvat oil and gas bearing area. They carried out the lithological and petrographic analysis of the formation sediments in thin sections and determined the contribution of radioactive elements to the total natural radioactivity, according to which, in combination with GIS data, the Bazhenov formation was differentiated into rocks of mainly siliceous composition, siliceous-carbonate rocks, mudstones and sandy-silty mudstones. Biostratigraphic studies of samples of the Bazhenov formation were analyzed. The deposits of the Bazhenov formation are dated by the Titonian (Volga) Stage, part of which is represented by a mixed composition containing both the amorphous organic matter typical of the Bazhenov formation and the Valanginian or Valanginian-Goterivian palynofoms of good preservation. The authors clarified the boundary of the Bazhenov formation anomalous section in the Uvat oil and gas area: in comparison with the previously established contours of distribution, the eastern boundary shifted to the west, due to which the total area of the anomalous section reduced almost twofold; the contours of the north-eastern border of Bazhenov formation anomalous section were slightly revised and shifted to the south-west direction. The obtained data indicate that the Bazhenov formation anomalous section formation was caused by the introduction of Valanginian-Goterivian deposits into the Tithonian-Berriasian deposits of protobagenite, which confirms the geomechanical model of the Bazhenov formation anomalous section formation.

Keywords: Bazhenov formation, Bazhenov formation anomalous section, Western Siberia, Uvat oil-and-gas-bearing region

Acknowledgements: The work is carried out in accordance with the Strategic Academic Leadership Program "Priority 2030" of the Kazan Federal University of the Government of the Russian Federation.

For citation: Staroselets D.A., Smirnov P.V., Trenkin A.V. Bazhenov formation anomalous section within the Uvat oil and gas bearing area. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2025, vol. 336, no. 1, pp. 108–122. DOI: 10.18799/24131830/2025/1/4606

Введение

Устойчивой тенденцией изменения состояния нефтегазового комплекса России в целом и Западной Сибири в частности является истощение традиционных ресурсов с одновременным ростом в структуре запасов залежей, связанных со сложными нетрадиционными породами-коллекторами и называемых трудноизвлекаемыми. С целью стимулирования и упрощения освоения подобных объектов нефтегазодобычи, разработана система налоговых предпочтений [1]. Главным объектом, с кото-

рым ассоциированы такие запасы в Западной Сибири, безусловно, является баженовская свита верхней юры (J_3-K_{1bn}). Фактически с момента своего открытия и начала всестороннего изучения она рассматривается как потенциальный источник восполнения ресурсной базы Западной Сибири.

Баженовская свита J_3-K_{1bn} (БС) характеризуется широким пространственным распространением (порядка 1 млн км²) и наличием залежей углеводородов литологического типа [2]. С точки зрения генерационного потенциала свиту отличает высо-

кое содержание $C_{орг}$, благоприятный катагенез пород для генерации углеводородов (УВ), способность удерживать их, низкая матричная проницаемость и содержание большого количества гетероатомных УВ [2, 3].

Являясь главным источником генерации УВ на территории Западной Сибири, БС находится в одном ряду с такими сланцевыми формациями, как Bakken, Niobrara, Barnett, Denver, San Joaquín, Shuixiju (США, Китай и др.) [4–15]. Масштабы распространения делают её уникальным объектом и обеспечивают формирование зон с большим ресурсным потенциалом как нефти (на юге), так и газа (на севере) [2].

Несмотря на то, что оценки ресурсного потенциала БС варьируются в широком диапазоне, даже минимальные прогнозируемые ресурсы чрезвычайно внушительны и способны компенсировать выпадающие из добычи производственные мощности в традиционных породах-коллекторах. Их потенциал оценивают от 65 до 100 млрд т [16] и до 78 млрд т по результатам применения объёмного метода и использования усреднённых параметров [17].

Эксплуатационные перспективы аномального разреза баженовской свиты (АРБ) связывают с рядом параметров. К первому из них можно отнести то, что в АРБ отмечается тесное сочетание как классических пород баженовской свиты, отвечающих за генерацию углеводородов, так и песчано-алевритовых пород [18], являющихся значительно лучшими породами-коллекторами по сравнению с первыми. Так, последние в среднем характеризуются следующими параметрами: 2–5 м эффективной нефтенасыщенной толщины, 15–17 % пористости, 1 мД проницаемости и 0,48 д. ед. нефтенасыщенности [19]. Вторым немаловажным параметром является то, что подобные песчаные тела имеют достаточно большие размеры. Так, в пределах Широкого Приобья их размеры варьируют по ширине от 2 до 20 км, по длине – от 14 до 84 км при вертикальной толщине, достигающей 150 м [20]. Третий параметр связывается с тем, что значительная часть АРБ приурочена к месторождениям с уже развитой инфраструктурой, где подобные нефтесодержащие отложения не введены в разработку, но могут обеспечить прирост добычи. Так, в пределах Широкого Приобья на баланс поставлено 65 залежей по 35 месторождениям [18].

Вместе с тем разработка залежей нефти в отложениях свиты непременно сопряжена с невозможностью экстраполяции свойств продуктового пласта, что в конечном итоге приводит к низкой прогнозируемости дебитов углеводородов.

В строении баженовской свиты обособляются разрезы, характеризующиеся увеличенными тол-

щинами и изменением литологического состава в сторону повышения доли терригенного материала. Указанная вариативность лежит в основе классификации разрезов баженовской свиты, включающей два типа: стандартный (или «классический»), представленный породами глинисто-карбонатно-кремниевый состава, и «аномальный» (АРБ), сложенный терригенными породами песчано-алеврито-глинистого состава.

Понимание модели образования АРБ помогает повысить эффективность ряда геологических работ: интерпретации сейсмических данных, создания геологических моделей, планирования ГРП и подготовки системы разработки отложений АРБ. Отсутствие консенсуса и научно-обоснованных подходов к моделированию отложений АРБ на основе генетической модели не позволяют планировать эффективный ряд геолого-технических мероприятий по разведке и разработке месторождений. Совокупность указанных фактов стала причиной низкого качества геологических моделей, которые в малой степени соответствуют реальному строению резервуара углеводородов и не позволяют планировать эффективные пути разработки месторождения. Не способствует решению проблемы и отсутствие нового поколения крупномасштабных, высокодетальных карт размещения АРБ в пределах различных литофациальных районов. К числу одной из наиболее информативных и вместе с тем современных относится карта размещения аномальных разрезов А.А. Нежданова [21] для Среднеобской, части Фроловской и Каймысовской нефтегазоносных областей.

В рамках настоящей работы поставлена цель уточнить границы распространения и параметризовать строение отложений АРБ в пределах Уватского нефтегазоносного района посредством проведения комплексного анализа результатов изучения кернового материала, данных ГИС и сейсморазведки, а также оценить выявленные особенности на предмет согласованности с существующими концепциями формирования АРБ.

Материалы и методы

Геология и история изученности баженовской свиты. Краткий обзор генетических концепций

Впервые баженовские отложения были выделены Ф.Г. Гурами в 1959 г. как пачка марьяновской свиты [22].

В 1970-х и 1980-х гг. основной объём исследований баженовской свиты был направлен на изучение её строения и этапности формирования. В рамках выполненных работ описано общее строение баженовского горизонта [23]. В последующем Ю.В. Брудучан с соавторами [24] представил систематизированные данные о стратиграфии баженовской свиты и её аналогов.

Изучение стратиграфии свиты нераздельно связано с анализом палеогеографических условий региона и разработкой концептуальной модели ее формирования. Ранее предложены и аргументированы гипотезы как глубоководного формирования отложений свиты (более 200 м) [24, 25], так и модели осадконакопления в мелководных условиях [26]. Разработанные в 2013 г. коллективом Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН палеогеографические карты с локализацией зон осадконакопления отложений баженовской свиты Западной Сибири базируются на гипотезе о глубоководных условиях седиментации свиты.

Вопросы стратиграфии, расчленения и корреляции баженовской свиты рассматриваются и уточняются крупнейшими специалистами отрасли в течение последних десятилетий. Одна из первых схем расчленения создана в 1975 г. коллективом специалистов ЗапСибНИГНИ.

На основании форм кривых каротажа при использовании каждого из методов выделены более двух десятков слоёв [27], а посредством комплексирования методов ГИС в разрезе баженовской свиты определены шесть литостратиграфических пачек. В.И. Белкиным [28] представлено расчленение баженовской свиты по данным геофизических исследований скважин, включающих различные типы каротажа. Новые данные продолжают служить цели детализации сведений о расчленении баженовской свиты и в настоящий момент, в рамках которой различные её способы предложены коллективом специалистов Научно-аналитического центра рационального недропользования им. В.И. Шпильмана. Исследования многих авторов посвящены определению и анализу вклада различных элементов в естественную радиоактивность отложений баженовской свиты [29, 30].

В последние два десятилетия отмечается неизменно большое количество научных работ, посвящённых минеральному и литологическому составу пород свиты и их типизации [31–33].

Литологически свита сложена породами глинисто-карбонатно-кремниевых составов и характеризуется высокой радиоактивностью и аномально высоким содержанием сапропелевого органического вещества [34]. В отложениях баженовской свиты биогенный и хемотропный кремнезем существенно довлеет над терригенным. Преобладающим минеральным компонентом в силикатах является халцедон, который, по мнению И.Н. Ушатинского, представляет собой продукт трансформационных переходов первоначально биогенного опала [35].

С момента открытия свиты наблюдается непрерывный рост числа научно-исследовательских программ, посвящённых изучению аномальных разрезов баженовской свиты. Первое описание АРБ было сде-

лано К.И. Микуленко и Г.Б. Острым [36], связывавшими их с подводно-оползновыми дислокациями.

Представления о формировании АРБ претерпели значительное развитие. Г.С. Ясович [37] увязывал их с глубоководными турбидитовыми руслами и другими придонными течениями. Модель подводно-оползнового генезиса АРБ была дополнительно аргументирована в [21, 38]. В.Ф. Гришкевич с соавторами [39, 40] предложили модель формирования аномальных разрезов за счёт дезинтеграции протобаженитов при внедрении в разрез пород терригенного состава. Иную точку зрения отстаивают О.Г. Зарипов, В.П. Сонич [41], связавшие осадконакопление АРБ с местным сносом терригенного материала с участков размыва уже накопившихся ниже лежащих отложений. По предположению О.М. Мкртчяна [42] глинисто-кремниевые породы баженовской свиты являются глубоководными фациями клиноформного комплекса, а аномальные разрезы рассматриваются как фондоформные части клиноформного комплекса. И.С. Гутман и Е.А. Качкина с соавторами предполагают связанность формирования АРБ с погружением тектонических блоков по конседиментационным разломам, параллельно которым происходило накопление песчано-алевритового материала, т. е. АРБ [43].

Объект исследования

Регион исследований АРБ расположен в пределах Уватского нефтегазоносного района (НГР) и объединяет группу месторождений: Кальчинское, Центральное-Алымское, Верхне-Лумкойское, Нижне-Лумкойское, Северо-Комариное, Варягское, Зимнее, Кондинское, Ендырское и им. А. Жагина. Нефтегазоносность баженовской свиты доказана на Кальчинском, Ендырском, Северо-Комарином и им. А. Жагина месторождениях (Государственный баланс, 2020).

В тектоническом плане большая часть района исследований приурочена к мезомоноклинали Обской ступени, в строении которой выделяются отрицательные структуры III порядка. Восточная часть Уватского НГР располагается на территории распространения Нижнедэмьянской мегавпадины (рис. 1), осложнённой группой более мелких отрицательных структур.

Литология баженовской свиты в пределах площади распространения аномальной части разреза свиты охарактеризована по трем керновым скважинам, общий интервал которых составляет 83,1 м. Для анализа вещественного состава баженовской свиты использованы результаты исследований кернавого материала: макро- и микроописание пород, измерение естественной радиоактивности на керне методом спектрометрического гамма-каротажа, палинологические и микрофаунистические данные.

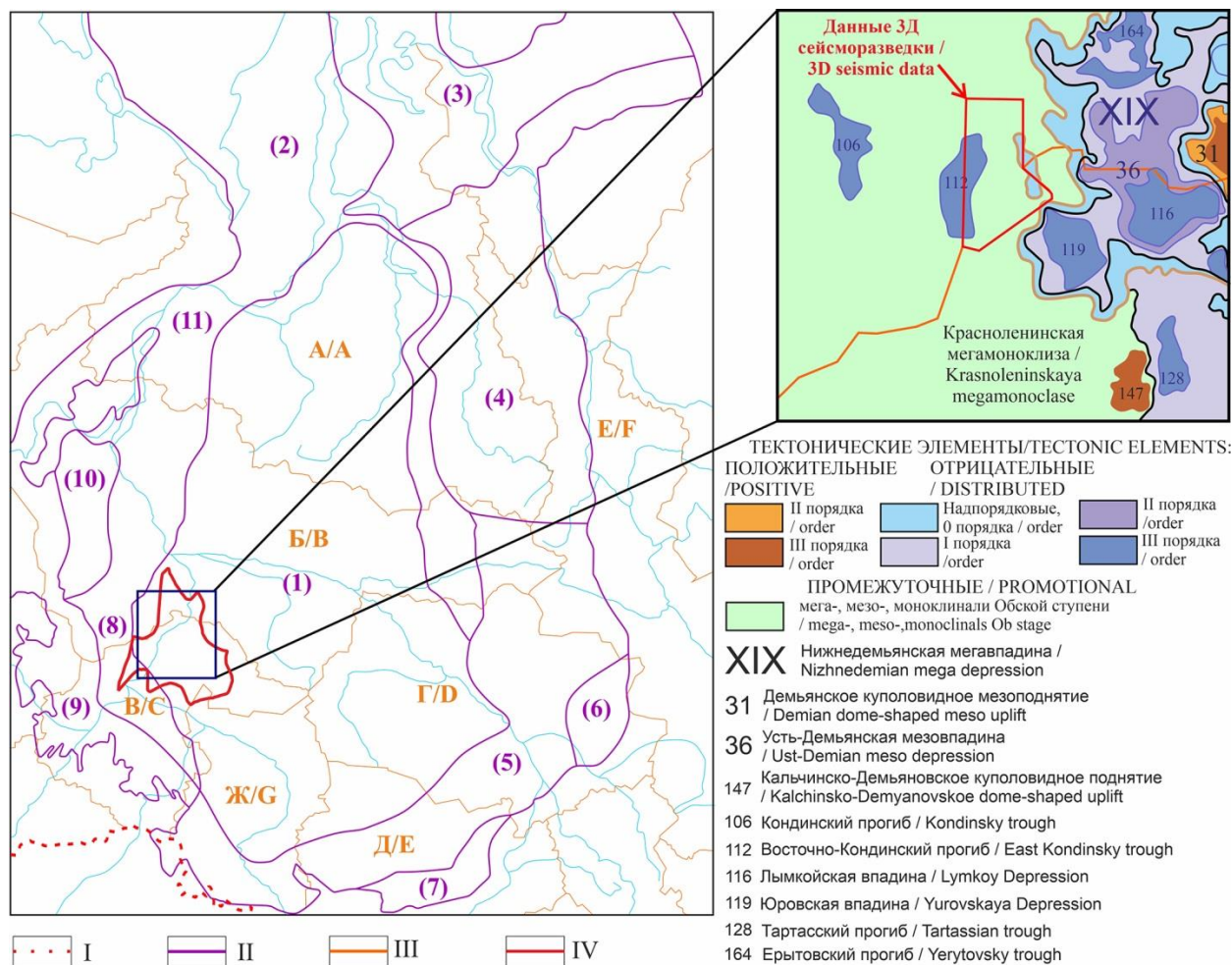


Рис. 1. Район исследования АРБ (фрагмент схемы тектонического районирования Западно-Сибирской нефтегазовой провинции). Условные обозначения: I – границы Российской Федерации, II – границы свит в составе баженовского горизонта, III – административные границы, IV – Уватский НГР. Свиты баженовского горизонта: 1 – баженовская, 2 – баженовская низкоомная, 3 – гольчихинская, 4 – яновстанская, 5 – марьяновская, 6 – максимоярская, 7 – баганская, 8 – тутлеймская, 9 – даниловская, 10 – мулымьинская, 11 – даниловская. Административно-территориальное деление: А – Ямало-Ненецкий автономный округ, Б – Ханты-Мансийский автономный округ, В – Тюменская область, Г – Томская область, Д – Новосибирская область, Е – Красноярский край, Ж – Омская область

Fig. 1. Study area of the Bazhenov formation anomalous section (fragment of tectonic zoning scheme of West Siberian oil and gas province). Notation: I – borders of the Russian Federation, II – boundaries of formations within the Bazhenov horizon, III – administrative boundaries, IV – Uvat oil and gas bearing district. Formations of the Bazhenov horizon: 1 – Bazhenovskaya, 2 – Bazhenovskaya low-limbed, 3 – Golchikhinskaya, 4 – Yanovstanskaya, 5 – Maryanovskaya, 6 – Maksimoyarskaya, 7 – Baganskaya, 8 – Tutleimskaya, 9 – Danilovskaya, 10 – Mulymyinskaya, 11 – Danilovskaya. Administrative-territorial division: A – Yamalo-Nenets Autonomous Okrug, B – Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug, C – Tyumen Oblast, D – Tomsk Oblast, E – Novosibirsk Oblast, F – Krasnoyarsk Krai, G – Omsk Oblast

Более детальное расчленение разреза баженовской свиты представлено в исследованиях литологического состава различными авторами [27, 44].

Измерение естественной радиоактивности на колонке керна выполнено методом спектрометрического гамма-каротажа (Отчет, 2015 Биостратиграфические исследования керна бажен-абалакского комплекса скважины 1ПО). Посредством данного метода происходит определение содержания естественных радиоактивных элементов U, Th, K в полноразмерном керне.

В связи с дефицитом каменного материала и отбором образцов на исследования только с интервалов баженовской свиты последняя изучена преимущественно по данным ГИС. Исследования керна представлены узкой выборкой образцов на биостратиграфию в целях определения стратиграфической принадлежности отложений.

Биостратиграфическое исследование проведено ООО «Петройл» на семи образцах (Отчет, 2015 Биостратиграфические исследования керна бажен-абалакского комплекса скважины 1ПО). Анализ

выполнен палинологическим, макро- и микрофаунистическим методами [45–49].

Для уточнения строения баженовской свиты использованы данные геофизических исследований скважин и данные 3D-сейсморазведки. ГИС имеют по 154 скважинам и представлены следующими методами: собственной поляризации, гамма-каротаж, индукционный, нейтронный и боковой каротаж. Материалы 3D-сейсморазведки представлены в пределах Зимнего лицензионного участка.

Интерпретация данных сейсморазведки выполнялась посредством прослеживания отражающих горизонтов. По отражающим горизонтам построены карты толщин баженовской свиты и изопахические треугольники [50–52].

Результаты исследований

Литолого-петрографические исследования

В пределах участка исследований породы баженовской свиты имеют сложный, вариативный литологический состав и в рамках работы подразделены на две группы: (1) породы непосредственно БС и (2) терригенные породы. По результатам описания литолого-петрографических исследований в шлифах, данных рентгеноструктурного анализа (РСА) толща дифференцирована на следующие генерализованные типы пород: (1) глинисто-кремниевый состав, (2) глинисто-кремниво-карбонатного состава, (3) аргиллиты и (4) песчано-алевритовые породы (рис. 2). Последние два типа отнесены к непосредственно внедрённым терригенным породам, а первые два – к породам БС. В терригенной части баженовского разреза выделены алевритовые песчаники, песчаные алевриты, глинистые алевриты и алевритовые аргиллиты.

По данным РСА в породах баженовской свиты в разрезах со стандартным строением максимальное содержание глинистых минералов достигает 23 %. В глинистой части горной породы преобладание получили иллит и каолинит – их среднее содержание достигает 75 и 17 %, соответственно. В скважинах, вскрывших АРБ, содержание глинистых минералов достигает 25 %, однако соотношение в составе иллита и каолинита меньше (44 и 11 %, соответственно), появляется значительное содержание смешанослойных образований (в среднем 27 %).

В части биостратиграфических исследований в семи образцах, референтных с Ю₀, наблюдается чередование типично баженовских палиноморф, содержащих аморфное органическое вещество (АОВ) «баженовского» типа и баженовский тип порошка (представленный темно-серо-коричневыми тонкозернистыми зёрнами; с присутствием радиолярий, ихтиодетрита и единичных мелких зёрен глауконита), датированных по микрофауне титонским (волжским) ярусом, и образцов смешанного состава, содержащих как типичное для

баженовской свиты АОВ, так и валанжинские либо валанжин-готеривские палиноморфы хорошей сохранности (Отчет, 2015 Биостратиграфические исследования керна бажен-абалакского комплекса скважины 1ПО). Подобный состав комплекса палеофлоры отражает присутствие более молодых пород валанжинского возраста в титон-нижнеберияских баженовских отложениях.

Наличие аргиллитов и песчано-алевритовых пород, слагающих АРБ, полностью соотносится с изменением вклада радиоактивных элементов в общую естественную радиоактивность. В пределах пород глинисто-кремниевый и глинисто-карбонатно-кремниевый состава, характерного для отложений «классического» разреза БС, основной вклад в радиоактивность вносит U, в то время как в интервале терригенных пород, песчано-алевритового и глинистого составов вклад в естественную радиоактивность U и Th становится примерно равным, или же начинает превалировать Th.

Породы преимущественно карбонатно-кремниевый состав в двух исследованных скважинах по вкладу в радиоактивность U и Th близки по своим значениям (рис. 2). В то время как терригенные породы сходны по содержанию Th и различны по содержанию U. С породами ачимовской толщи наблюдается обратно пропорциональная связь – содержание U по двум скважинам близко, а Th различно.

Геофизические исследования скважин

Характерной особенностью АРБ по ГИС является наличие интервалов различной толщины (от первых метров до нескольких десятков метров), характеризующихся пониженной радиоактивностью. При этом количество подобных участков в разрезе варьирует от одного до двух–трёх. Они представлены общей для всех них закономерностью: (1) большой разницей значений параметра гамма-каротажа (ГК) на границе с подстилающими породами, (2) постепенным увеличением параметра каротажа вверх по разрезу и (3) относительно плавным переходом в перекрывающие интервалы «классического» бажена.

В скважинах со значительными толщами АРБ ГК напротив всего интервала баженовских отложений фиксирует значения параметра естественной радиоактивности в размере не более двух десятков мкР/ч, в то время как в скважинах с небольшими толщами АРБ или с «классическим» строением БС значения радиоактивности варьируют в пределах нескольких десятков мкР/ч.

Также дополнительной особенностью поведения параметра гамма-каротажа, фиксирующей наличие АРБ, является резкое падение значений параметра ГК в кровле свиты, против постепенного его уменьшения в скважинах с «классическим» строением БС.

В части остальных методов ГИС фиксируется следующее: показания зонда индукционного каротажа (ИК) при стандартном строении БС имеют минимальные значения, однако при изменении состава БС за счёт появления в разрезе терригенных пород параметр ИК возрастает. Боковой каротаж (БК) демонстрирует уменьшение значений метода в пределах отложений АРБ.

По данным ГИС проведена межскважинная корреляция Уватского НГР и прослежено распространение аномального разреза БС на большую часть территории НГР (рис. 3), в пределах которой толщина свиты варьирует от 28 до 103 м, при этом аномальностью баженовского разреза характеризуются области с толщиной более 35 м.

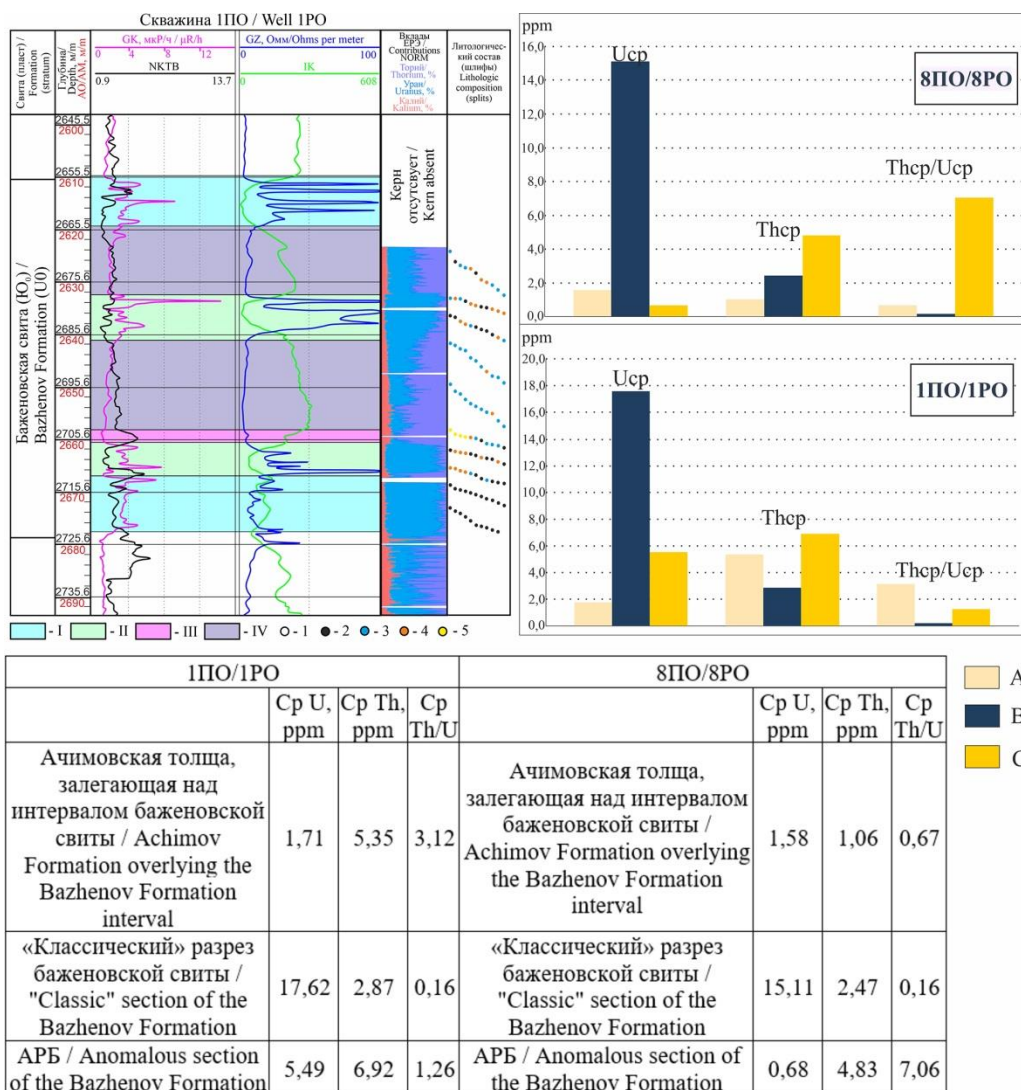


Рис. 2. Дифференциация баженовской свиты по данным исследования керна и распределение естественной радиоактивности (ЕРЭ) (Литогеохимические интервалы: I – преобладающе кремниевый состав, II – преобладающе кремниво-карбонатного состава, III – терригенного состава песчано-алевритовой размерности, IV – терригенного состава глинистой размерности. Литогеохимический состав в шлифах: 1 – место отбора шлифа, 2 – преимущественно кремниевый состав, 3 – преимущественно терригенный состав глинистой размерности, 4 – преимущественно карбонатный состав, 5 – преимущественно терригенный состав песчано-алевритовой размерности. Распределение ЕРЭ: А – ачимовская толща, В – карбонатно-кремневая часть баженовской свиты, С – терригенная часть баженовской свиты)

Fig. 2. Differentiation of the Bazhenov formation according to the core study data (Lithologic intervals: I – predominantly silicic composition; II – predominantly silicic-carbonate composition; III – terrigenous composition of sandy-silty dimension; IV – terrigenous composition of clay dimension. Lithologic composition in thin-sections: 1 – place of sampling, 2 – predominantly siliceous composition, 3 – predominantly terrigenous composition of clayey dimension, 4 – predominantly carbonate composition, 5 – predominantly terrigenous composition of sandy-siltstone dimension. Distribution diagrams of natural radioactivity in deposits: A – Achimov formation, B – carbonate-silicon part of the Bazhenov formation, C – terrigenous part of the Bazhenov formation)

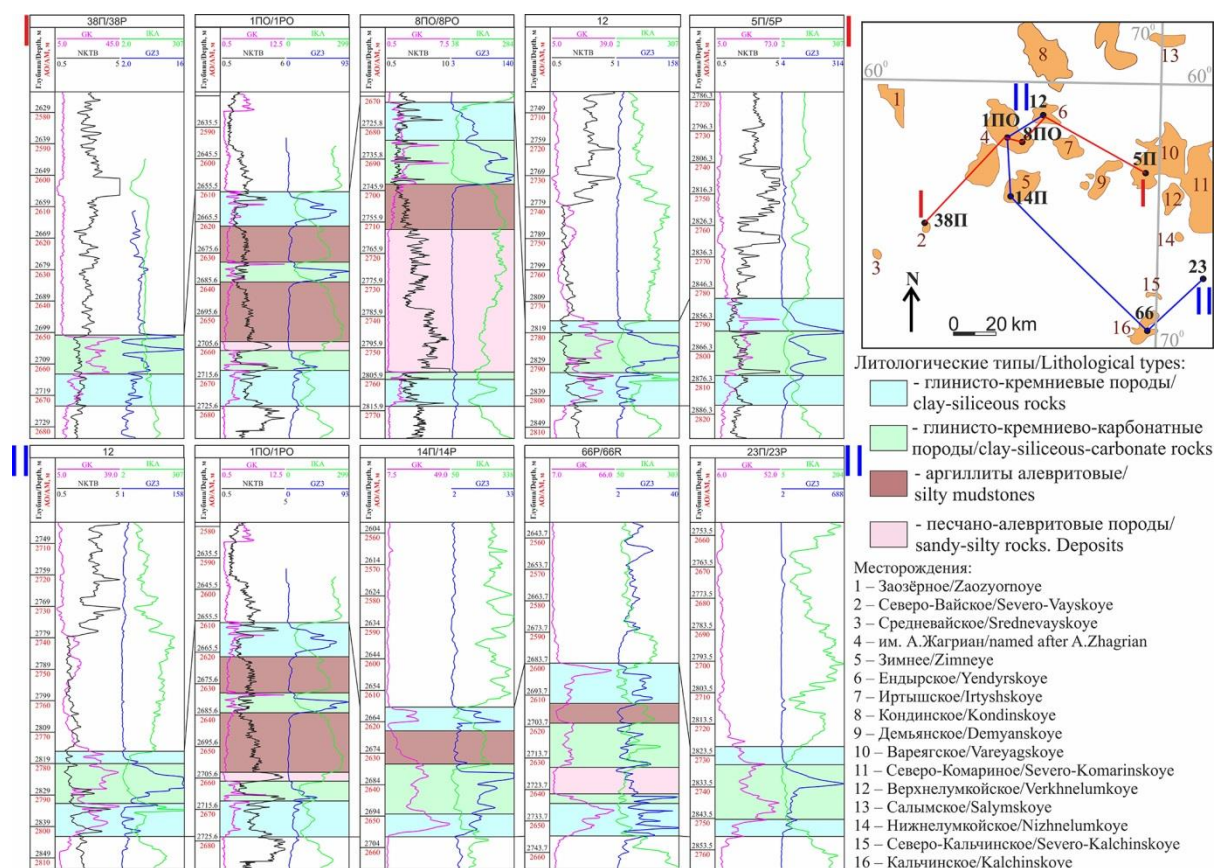


Рис. 3. Корреляция баженовской свиты в пределах Уватского НГР

Fig. 3. Correlation of the Bazhenov formation within the Uvat oil and gas bearing area

Данные сейсморазведки

Строение баженовской свиты уточнено по данным сейсморазведки методом общей глубинной точки 3D отдельных лицензионных участков месторождений Зимнего и им. А. Жагрина (рис. 4).

На большей части указанной территории отмечается увеличение толщины баженовской свиты. При этом оно имеет прямую связь с двумя типами волной картины: (1) резкое вздымание кровли БС, (2) смятие баженовских отложений с последующим их дроблением и растрескиванием. Первый случай в основном характерен для южной части участка 3D-сеймики, в то время как при смещении севернее наблюдается сейсмическая картина смятия, после которого следует постепенное утонение АРБ.

Также присутствуют участки, в области которых толщины свиты соответствуют стандартному разрезу баженовских отложений, где кровля имеет отметки (–2760...–2820 м) значительно более глубокие по сравнению с участками АРБ и нередко пространственно отделяется от них разломами или разрывами.

Обсуждение

В [21] уже устанавливалось широкое распространение АРБ на территории Уватского НГР. По результатам исследований можно отметить, что в

пределах НГР АРБ представлен двумя типами строения. Первый тип характеризуется наличием в разрезе БС наравне со стандартными породами глинисто-карбонатно-кремниевый состав ещё пород, нехарактерных для свиты, – алевролитов, песчаников, аргиллитов. Также данный тип представлен нетипичным для свиты строением, фиксирующимся по резкому изменению параметра ГК в сторону уменьшения в центральной части разреза и сходным изменением параметра в кровле свиты при переходе к вышележащим интервалам. Второй тип представлен породами «классического» разреза баженовской свиты, но также фиксируется по уменьшению значений параметра ГК в кровельной части свиты.

Новые данные позволили уточнить площадь распространения АРБ (рис. 5). В разрезах скважин Кондинского, Чаповского, Западно-Эргинского, Салымского, Варягского, Северо-Комариного, Верхнее- и Нижнелумкойского, Северо-Кальчинского месторождений отложения АРБ не найдены. В связи с чем восточная граница распространения АРБ смещена западнее, а общая территория распространения аномального разреза уменьшена почти в два раза. Контуры северо-восточной границы АРБ подвергнуты незначительной ревизии и смещены в юго-западном направлении.

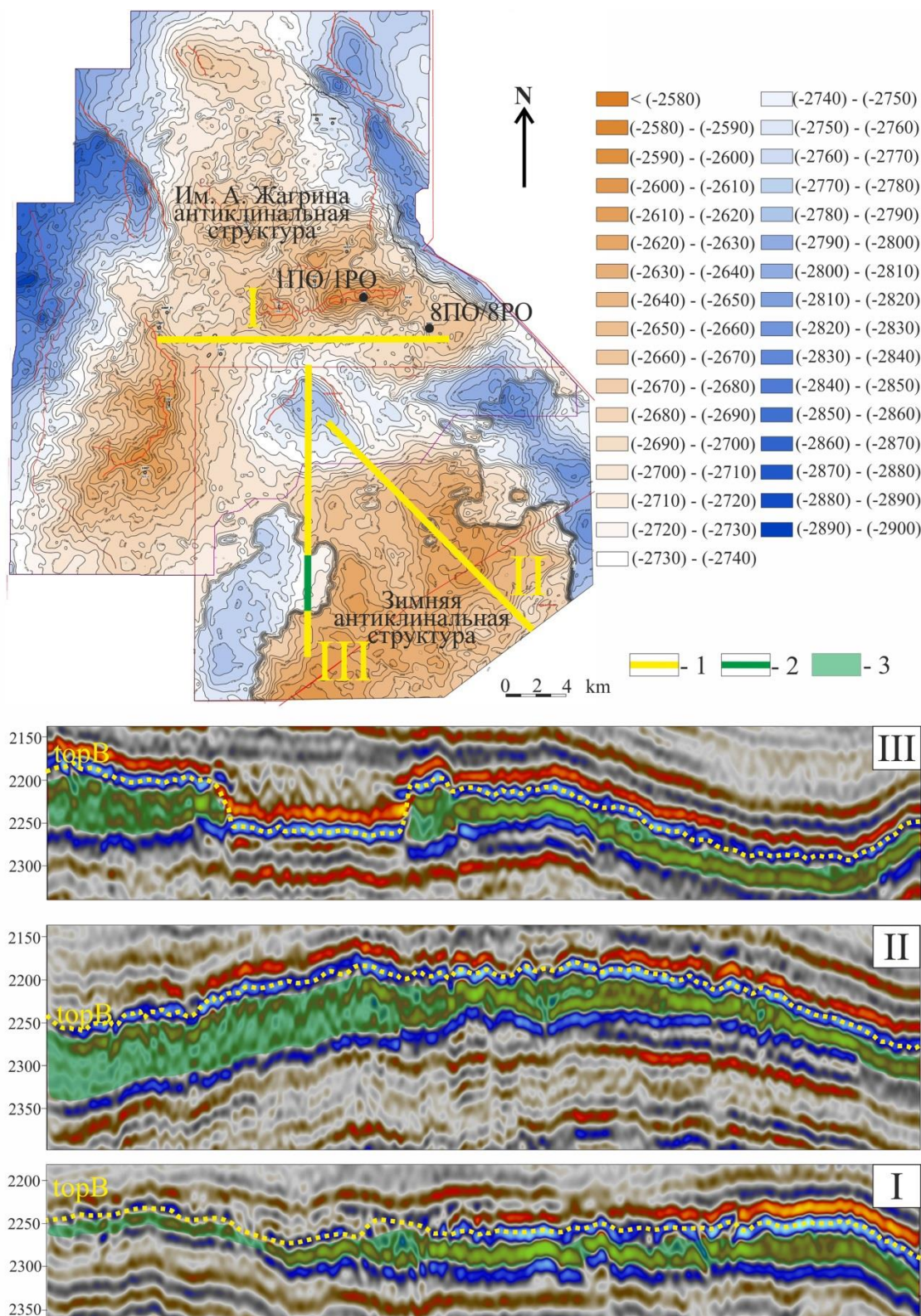


Рис. 4. Структурная карта по кровле горизонта В (подошва БС) и сейсмические разрезы, характеризующие проявление АРБ (topB – кровля БС) (1 – часть профиля, где в разрезе отмечается развитие АРБ, 2 – часть профиля, где в разрезе отмечается «классическое» строение БС, 3 – участок разреза, характеризующийся развитием АРБ)

Fig. 4. Structural map of the B horizon (basement of the Bazhenov formation) and seismic sections characterizing the Bazhenov formation anomalous section manifestation (topB – roof of the Bazhenov formation) (1 – part of the profile where Bazhenov formation anomalous section development is noted in the section, 2 – part of the profile where "classical" structure of the Bazhenov formation is noted in the section, 3 – area of the section characterized by Bazhenov formation anomalous section development)

Выявлены и различия в латеральном распространении от «классического» строения к АРБ. Наблюдается два случая. В первом подобный переход достаточно резок и характеризуется наличием разломов, во втором постепенен и наблюдается в случае перехода от АРБ к стандартному разрезу БС в направлении с юго-востока на северо-запад, при этом во втором случае изменение строения разреза происходит за счёт постепенного утонения толщины интервалов терригенных пород. В целом в пределах участка исследований толщина свиты варьируется от 28 до 103 м. В среднем аномальность разрезов отмечается при толщинах выше 35 м.

Анализ сейсморазведочных и скважинных данных позволяет предположить наличие «вклинивания» ачимовской толщи в нелитифицированные отложения БС, что соответствует подводно-оползневой или геомеханической гипотезам формирования АРБ. При этом установлено, что в пределах участка исследования заполнение волжско-берриасского бассейна шло по направлению с юго-востока на северо-запад. На это указывает: характер изменения толщин – постепенное утонение интервалов с терригенным породами в северо-западном направлении; особенности сейсмических отражений нижнемеловых отложений над баженовским горизонтом, представленных наклонным падением с юго-востока на северо-запад.

Также в пользу данной гипотезы говорят результаты микропалеонтологических исследований, по результатам которых выявлено присутствие микрофауны как волжского яруса, так и смешенного состава, датируемой волжским и валанжинготеривским ярусами.

Нашло своё подтверждение замечание В.Ф. Гришкевича об одном из условий формирования оползней скольжения, вклинивавшихся в отложения протобаженитов [40]. Оно заключается в том, что необходимо существование достаточных по толщине глин (10 м и более), перекрывающих линзы песков-пльвунов. Наличие таких глин прослеживается в скважинах Уватского НГР, в разрезе которых наблюдается АРБ.

По результатам выявления вклада радиоактивных элементов в общую естественную радиоактивность отмечаются существенные отличия этих параметров для ачимовских пород и терригенной составляющей баженовской свиты. В двух проанализированных скважинах отмечается расхождение в значениях U и Th. Вклад в среднюю радиоактивность U в интервале распространения терригенных пород АРБ в скважине 1ПО составляет 5,49 ppm, а в 8ПО – 0,68 ppm. При этом значения в интервале классического разреза баженовской свиты (1ПО – 17,62 ppm; 8ПО – 15,11 ppm) и ачимовской толщи (1ПО – 1,71 ppm; 8ПО – 1,58 ppm) сопоставимы. Обратная ситуация наблюдается по результатам определения средних

значений вклада Th в естественную радиоактивность. В интервалах АРБ (1ПО – 6,92 ppm; 8ПО – 4,83 ppm) и классического разреза баженовской свиты (1ПО – 2,87 ppm; 8ПО – 2,47 ppm) значения сходны, а в интервале ачимовской толщи (1ПО – 5,35 ppm; 8ПО – 1,06 ppm) различны. Описанное позволяет предположить, что ачимовские отложения и терригенные породы АРБ в скважинах 1ПО и 8ПО разновозрастны и различны по составу.

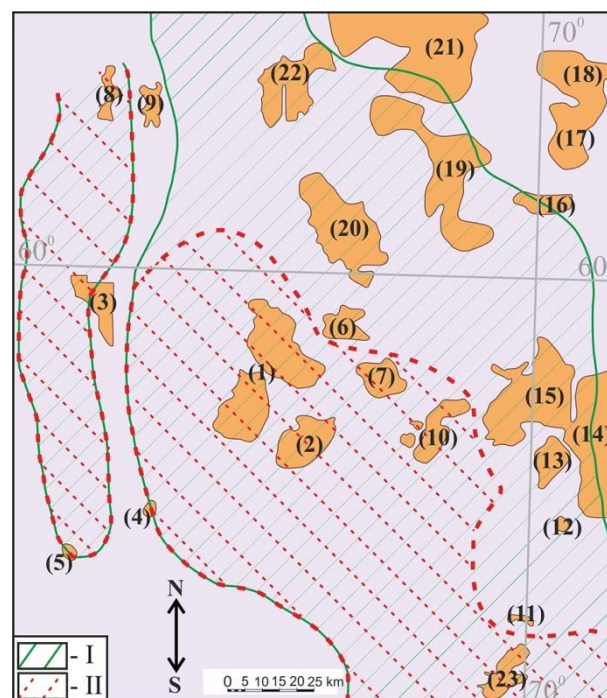


Рис. 5. Уточнённые границы распространения АРБ по скважинным данным в пределах Уватского НГР (I – зона аномального разреза по [21]; II – зона АРБ, уточнённая по результатам исследований. Месторождения: 1 – им. А. Жагрина, 2 – Зимнее, 3 – Заозёрное, 4 – Северо-Вайское, 5 – Средневайское, 6 – Ендырское, 7 – Иртышское, 8 – Восточно-Камское, 9 – Япловское, 10 – Демьянское, 11 – Северо-Кальчинское, 12 – Нижнелумковское, 13 – Верхнелумковское, 14 – Северо-Комариное, 15 – Варягское, 16 – Салымское, 17 – Нижнешапшинское, 18 – Среднешапшинское, 19 – Чапровское, 20 – Кондинское, 21 – Эргинское, 22 – Запдно-Эргинское, 23 – Кальчинское)

Fig. 5. Detailed distribution boundaries of the Bazhenov formation anomalous section based on well data within the oil and gas bearing area (I – zone of anomalous section (according to [21]); II – zone of anomalous section refined based on the results of studies. Deposits: 1 – named after A. Zhagrin, 2 – Zimnee, 3 – Zaozernoe, 4 – Severo-Vayskoe, 5 – Srednevayskoe, 6 – Endyrskoe, 7 – Irtyshskoe, 8 – Vostochno-Kamskoe, 9 – Yaplotskoe, 10 – Demyanskoe, 11 – Severo-Kalchinskoe, 12 – Nizhnelumkovskoe, 13 – Verkhnelumkovskoe, 14 – Severo-Komarinoe, 15 – Vareyagskoe, 16 – Salymskoe, 17 – Nizhneshapshinskoe, 18 – Sredneshapshinskoe, 19 – Chaprovskoe, 20 – Kondinskoe, 21 – Erginskoe, 22 – Zapadno-Erginskoe, 23 – Kalchinskoe)

Касательно остальных гипотез формирования АРБ является возможным заключить следующее:

(1) Так как в непосредственном окружении зон локализации АРБ Уватского НГР не установлены потенциальные области терригенного сноса [41], нет оснований согласиться с гипотезой формирования АРБ за счёт трансфера осадочного материала с прилегающей островной суши. Во всех случаях нижележащие породы абалакской свиты ($J_{\text{Заб}}$) присутствуют в разрезе, что свидетельствует о невозможности разрушения пород тюменской свиты, залегающей под абалакской. Сама же абалакская свита не могла быть источником сноса, так как сложена глинисто-кремневыми, а не псаммитовыми породами (как АРБ). В составе же АРБ присутствуют как глинистые, так и песчано-алевритовые фракции. В этом контексте представляется неясным наличие большого количества тектонических разломов, имеющих частую взаимосвязь с зонами распространения АРБ (если руководствоваться положениями гипотезы в [41]).

(2) Несколько важных комментариев касаются гипотезы формирования АРБ за счёт клавишного погружения тектонических блоков. Несмотря на то, что по сейсмическим данным отмечено наличие разломов, частично обрамляющих области распространения АРБ, полного оконтуривания всех зон АРБ разломами не наблюдается. Сами же аномальные отложения баженовской свиты характеризуются обширным простираем. Как итог, отсутствие полного обрамления разломами и обширность АРБ не дают оснований предположить нисходящие движения крупных блоков.

Совокупность полученных данных и анализ геологической информации позволяют сделать предположение, что в пределах Уватского НГР формирование аномального разреза баженовской свиты связано с внедрением отложений валанжин-

готтеривского возраста в титон-берриасские отложения нелитифицированной баженовской свиты. Формирование АРБ таким образом протекало по генетическому сценарию согласно геомеханической гипотезе [40]. На внедрение ачимовской толщи в нелитифицированные отложения БС указывает увеличение её толщины и особенности сейсмического волнового поля. При этом в разрезе появляются терригенные породы более молодого возраста по сравнению БС. Во время описанного внедрения происходило смятие и растрескивание отложений свиты в месте проникновения ачимовских отложений, что постепенно проникали глубже и уже в отдалении от эпицентра не производили дезинтеграции отложений БС, а лишь приподнимали их. Результатом такого процесса стало отчётливое наличие двух сейсмических картин, связанных с АРБ и представленных на рис. 5.

Заключение

Выполненные исследования позволили уточнить строение и область распространения АРБ в пределах Уватского НГР. В границах изучаемого участка выполнена корреляция скважинных данных, на основании которых уточнена зона распространения аномального разреза БС. Скорректированная площадь развития АРБ уменьшена в два раза относительно представлений предыдущих исследователей. Контуров северо-восточной границы АРБ подвергнуты ревизии и смещены в юго-западном направлении. Посредством анализа керновых (биостратиграфия и анализ вклада элементов в радиоактивность) и геофизических данных (ГИС и данные сейсморазведки) сделано предположение, что причиной формирования АРБ в указанном регионе стало внедрение отложений валанжин-готтеривского возраста в титон-берриасские отложения протобаженитов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Генерационный потенциал керогена баженовской свиты и возможность его реализации / А.Г. Калмыков, А.Ю. Бычков, Г.А. Калмыков, И.А. Бугаев, Е.В. Козлова // Георесурсы. – 2017. – Т. 2. – С. 165–172.
2. Морозов Н.В., Беленькая И.Ю., Жуков В.В. 3D моделирование углеводородных систем баженовской свиты: детализация прогноза физико-химических свойств углеводородов // ПРОНЕФТЬ. – 2016. – Т. 1. – С. 38–45.
3. Оксейнойд Е.Е. Минерально-вещественный состав, тип органического вещества и региональный прогноз продуктивности баженовского горизонта в центральной части Западно-Сибирского НГБ: дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – Тюмень, 2019. – 160 с.
4. Şen Ş. Prediction of fluid oil and gas volumes of shales with a deep learning model and its application to the Bakken and Marcellus shales // Sci. Rep. – 2022. – Vol. 12. – 20842.
5. Jacobs T. The third way: how BKV turned to 'Hybrid' refracs in the Barnett Shale // Journal of Petroleum Technology. – 2023. – Vol. 75. – № 11. – P. 20–25.
6. Harju J.A., Malki M.L., Rasouli V. Effect of mineralogy on elastic properties of the Bakken formation: a lab scale rock physics modelling // Geoenergy Science and Engineering. – 2023. – Vol. 224. DOI: 10.1016/j.geoen.2023.211432
7. Multiscale formation evaluation and rock types identification in the Middle Bakken Formation / I. Mellal, M.L. Malki, A. Latrach, O. Ameur-Zaimech, O. Bakelli // GeoEnergy Science and Engineering. – 2023. – Vol. 4. – № 3. – P. 1951–1964.
8. Log scale rock physics modelling to study the effect of mineralogy on elastic properties of the Bakken Formation / J.A. Harju, M.L. Malki, M. Rabiei, V. Rasouli // Geoenergy Science and Engineering. – 2022. DOI: 10.1016/j.energy.2022.125507.
9. Application of machine learning for mineralogy prediction from well logs in the Bakken Petroleum System / A. Laalam, A. Boualam, H. Ouadi, S. Djeddar, I. Mellal, O. Bakelli, A. Merzoug, A. Chemmakh, A. Latreche, B.E. Berrehal // SPE Annual Technical Conference and Exhibition. – 2022. DOI: 10.2118/210336-MS.

10. Statistical analysis of the petrophysical properties of the Bakken Petroleum System / A. Laalam, H. Ouadi, A. Merzoug, A. Chemmakh, A. Boualam, S. Djezzar, I. Mellal, M. Djoudi // Unconventional Resources Technology Conference (URTeC). 57th US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium. – Atlanta, Georgia, 2022. – P. 1–21.
11. Effect of mineralogy, pore geometry, and fluid type on the elastic properties of the Bakken Formation / M.L. Malki, V. Rasouli, M.R. Saberi, I. Mellal, O. Ozotta, B. Sennaoui, H. Chellal // 56th US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium. – Santa Fe, New Mexico, USA, July 2022. – P. 30–35.
12. New approach for stress-dependent permeability and porosity response in the Bakken Formation / H. Ouadi, I. Mellal, A. Chemmakh, S. Djezzar, A. Boualam, A. Merzoug, A. Laalam, N. Mouedden, Y. Khetib, V. Rasouli // SPE Annual Technical Conference and Exhibition. – October 2022. DOI: 10.2118/210104-MS.
13. Simulation of thermal maturity in kerogen type II using hydrous and anhydrous pyrolysis: a case study from the Bakken Shale, United States / M. Safaei-Farouji, B. Liu, L. Wang, B. Wang, T. Gentzis, M. Ostadhassan // Energy Fuels. – 2023. – Vol. 37. – № 24. – P. 19602–19620.
14. Seventy years of unconventional oil production from the Bakken – the impact of completion and stimulation design / C.M. Pearson, S. Strickland, J. McChesney, L.G. Griffin // SPE International Hydraulic Fracturing Technology Conference and Exhibition. – Muscat, Sultanate of Oman, 2023. DOI: <https://doi.org/10.2118/215644-MS>
15. Abdi Z., Rimmer S. Organic petrology and geochemistry of the Devonian-Mississippian Bakken formation, Williston Basin, North Dakota // International Journal of Coal Geology. – 2023. – Vol. 282. – № 1. DOI: 10.1016/j.coal.2023.104420
16. Главные направления развития нефтяного комплекса России в первой половине XXI века / А.Э. Конторович, Л.М. Бурштейн, В.Р. Лившиц, С.В. Рыжкова // Вестник Российской академии наук. – 2019. – Vol. 89. – № 11. – С. 1095–1104.
17. Методологические подходы к оценке ресурсов нефти в отложениях баженовской свиты / М.Б. Скворцов, М.В. Дахнова, Е.А. Копилевич, В.Д. Немова, Н.Д. Сурова, А.М. Кирсанов, С.В. Можегова // ГеоЕвразия 2018. Современные методы изучения и освоения недр Евразии: Труды Международной геолого-геофизической конференции. – М.: ООО "ПолиПРЕСС", 2018. – С. 120–124.
18. Бембель С.Р., Цепляева А.И. Геологическое строение и некоторые особенности формирования аномальных разрезов баженовской свиты в Западной Сибири // Недропользование. – 2014. – Т. 10. – С. 7–17.
19. Гатина Н.Н. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности зон аномального разреза баженовско-ачимовских отложений Широтного Приобья: дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – М., 2023. – 166 с.
20. Ключевые моменты интерпретации сейсмических данных внутри зон аномального разреза баженовской свиты на примерах Поточной, Спорышевской, Выинтойской и Ватинской зон / Н.Н. Гатина, М.Ф. Сариева, О.С. Мухутдинова, А.Ю. Попков, С.С. Гаврилов // Russian Journal of Earth Sciences. – 2023. – № 2. – С. 1–17. DOI: <https://doi.org/10.2205/2023ES000851>
21. Нежданов А.А. Сейсмогеологический анализ нефтегазоносных отложений Западной Сибири для целей прогноза и картирования неантиклинальных ловушек и залежей УВ: автореф. дис. д-ра геол.-минерал. наук. – Тюмень, ТГНГУ, 2004. – 44 с.
22. Гурари Ф.Г. Геология и перспективы нефтегазоносности Обь-Иртышского междуречья. – Л.: Гостоптехиздат, 1959. – 174 с.
23. Бочкарев В.С., Боярских Г.К. Особенности структурного плана кровли баженовского горизонта // Строение и нефтегазоносность баженитов Западной Сибири: тр. ЗапСибНИГНИ. – 1985. – С. 48–64.
24. Баженовский горизонт Западной Сибири (Стратиграфия, палеогеография, экосистема, нефтеносность) / Ю.В. Брадучан, А.В. Гольберг, Ф.Г. Гурари, В.А. Захаров, С.П. Булыньникова, И.Г. Климова, М.С. Месежников, Н.П. Вячкилева, Г.Э. Козлова, А.И. Лебедев, Т.И. Нальняева, А.С. Турбина. – Новосибирск: Наука, 1986. – 217 с.
25. Захаров В.А. Условия формирования волжско-берриасской высокоуглеродистой баженовской свиты Западной Сибири по данным палеоэкологии // Эволюция биосферы и биоразнообразия. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006. – С. 552–568.
26. Фомичев А.С. Глубина и биопродуктивность баженовского моря // Горные ведомости. – 2006. – Т. 5. – С. 20–25.
27. Хабаров В.В., Барташевич О.В., Нелепченко Д.М. Геолого-геофизическая характеристика и нефтеносность битуминозных пород баженовской свиты Западной Сибири // Обзор ВИЭМС. Геол., методы поиск, и разв. м-ний нефти и газа. – М.: ВИЭМС, 1981. – С. 17–32.
28. Белкин В.И., Ефремов Е.П., Каптелинин Н.Д. Строение и нефтеносность баженовского резервуара // Литология и полезные ископаемые. – 1985. – Т. 2. – С. 108–123.
29. Хабаров В.В., Кузнецов Г.С. Аномальные разрезы баженовской свиты Западной Сибири // Известия вузов. Нефть и газ. – 2001. – Т. 4. – С. 4–12.
30. Зубков М.Ю. Особенности распределения урана в битуминозных отложениях баженовской свиты (Западная Сибирь). Каротажник. – 2015. – Т. 5. – С. 3–32.
31. Эдер В.Г., Замирайлова А.Г., Занин Ю.Н. Особенности формирования баженовской свиты на границе юры и мела в центральной части Западной Сибири // Материалы VII Всероссийского литологического совещания. – Новосибирск, 2013. – С. 309–312.
32. Занин Ю.Н. Редкоземельные элементы в баженовской свите Западно-Сибирского осадочного бассейна // Литосфера. – 2011. – Т. 6. – С. 38–54.
33. Комплексы палеобиоты в абалакско-баженовских отложениях центральной части Западной Сибири. Нефтегазовая геология / И.В. Панченко, Н.С. Балушкина, Е.Ю. Барабошкин, В.С. Вишневская, Г.А. Калмыков, О.В. Шурекова // Теория и практика. – 2015. – Т. 2. – С. 1–29.
34. Минералого-геохимические особенности баженовской свиты Западной Сибири по данным ядерно-физических и электронно-микроскопических методов исследований / Л.П. Рихванов, Д.Г. Усольцев, С.С. Ильенок, А.В. Ежова // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2015. – Т. 326. – № 1. – С. 50–63.
35. Ушатинский И.Н. Литология и перспективы нефтеносности юрско-неокомских битуминозных отложений Западной Сибири // Советская геология. – 1981. – Т. 2. – С. 11–12.

36. Микуленко К.И., Острый Г.Б. Оползневые образования в мезозойских отложениях Западно-Сибирской низменности // Литология и полезные ископаемые. – 1968. – Т. 5. – С. 111–118.
37. Ясевич Г.С. Перспективы нефтегазоносности зон развития аномальных разрезов баженовской свиты Среднего Приобья // Материалы по геологии нефтегазоносных районов Западной Сибири. – Тюмень: Тр. ЗапСибНИГНИ, 1981. – Т. 166. – С. 51–59.
38. Нежданов А.А., Ушатинский И.Н. Состав пород и условия образования аномальных разрезов баженовской свиты // Геохимия процессов нефтегазообразования в мезозойских отложениях Западной Сибири: тр. ЗапСибНИГНИ. – 1986. – С. 118–127.
39. Гришкевич В.Ф. Аномальные разрезы баженовской свиты: модель образования и проблемы геометризации // Tyumen 2015. Deep Subsoil and Science Horizons. – Тюмень, Россия, 23–27 марта 2015. DOI: 10.3997/2214-4609.201412065.
40. Геомеханическая модель формирования аномальных разрезов баженовской свиты: физическое моделирование и практическое применение / В.Ф. Гришкевич, С.В. Лагутина, Е.В. Панина, С.С. Долматова, А.Г. Лаптей, Э.С. Торопов, В.С. Стариков, Н.Г. Хорошев, А.В. Блинкова // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2017. – Т. 3. – С. 33–47.
41. Зарипов О.Г., Сонич В.П. Новый тип разреза баженовской свиты и перспективы увеличения извлекаемых запасов на территории деятельности ОАО «Сургутнефтегаз» // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО – Югры: материалы IV науч.-практ. конф. – Ханты-Мансийск, 2001. – С. 143–153.
42. Мкртчян О.М. О некоторых седиментационных моделях продуктивных пластов верхнеюрского васюганского комплекса Западной Сибири // Вестник недропользователя ХМАО. – 2005. – Т. 15. – С. 19–24.
43. Гутман И.С. Комплексное обоснование тектонической природы аномальных разрезов верхнеюрской баженовской свиты и нижнемеловой ачимовской толщи Западной Сибири. Ч. 1. Аномальные разрезы верхнеюрской баженовской свиты и нижнемеловой ачимовской толщи // Актуальные проблемы нефти и газа. – 2019. – Т. 3. – № 26. – С. 1–5. DOI: 10.29222/ipng.2078-5712.2019-26.art5.
44. Стратификация и детальная корреляция баженовского горизонта в Центральной части Западной Сибири по данным литолого-палеонтологического изучения керна и ГИС / И.В. Панченко, В.Д. Немова, М.Е. Смирнова, М.В. Ильина, Е.Ю. Барабошкин, В.С. Ильин // Геология нефти и газа. – 2016. – Т. 6. – С. 22–34.
45. De Vernal A., Bilodeau G., M. Henry. Micropaleontological preparation techniques and analyses. Notes prepared for students of course SCT 8245, Département des Sciences de la Terre, UQAM, Montréal // Les Cahiers du GEOTOP. – 2010. – № 3. – P. 32.
46. Methods and applications in micropalaeontology / J. Tyszka, M. Oliwkiewicz-Mikłasińska, P. Gedl, M.A. Kaminski. – Poland: Polska Akademia Nauk, 2005. – Vol. 124. – 410 p.
47. Just T. Mesozoic plant microfossils and their geological significance // Chicago Natural History Museum. – 1951. – Vol. 25. – № 6. – P. 729–735.
48. Traverse A. Systematic methods for Mesozoic and Cenozoic plant microfossils // Micropaleontology. – 1956. – Vol. 2. – № 4. – P. 396–398.
49. Saraswati P.K., Srinivasan M.S. Micropaleontology: principles and applications. Front cover. – New York: Springer, 2015. – 224 p.
50. Theory of tectonic relief analysis and its application in geoscience / X.H. Chen, Z.L. Chen, Z.G. Shao, Y.P. Zhang, B. Li, W.C. Ding // Acta Geol. Sin. – 2022. – Vol. 96. – № 1. – P. 284–296.
51. Miall A.D. Principles of sedimentary basin analysis. 3rd enlarged ed. – Berlin: Springer-Verlag, 2000. – 616 p.
52. Allen P.A., Allen J.R. Basin analysis: principles and applications. 2nd ed. – Malden; Oxford: Wiley-Blackwell, 2004. – 560 p.

Информация об авторах

Дмитрий Андреевич Староселец, заместитель генерального директора по производству ООО «ГудГео», Россия, 625000, г. Тюмень, ул. Республики, 57. d_star1997@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0007-4262-8639>

Павел Витальевич Смирнов, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, Казанский федеральный университет, Россия, 420111, г. Казань, ул. Кремлевская, 4к5. geolog.08@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2264-2269>

Анатолий Владимирович Тренкин, начальник управления по лицензированию недр, проектной документации и работе с органами гос. власти, Общество с ограниченной ответственностью «Газпромнефть-Хантос», Россия, 628007, г. Ханты-Мансийск, ул. Ленина, 56. Trenkin.AV@hantosgazprom-neft.ru

Поступила в редакцию: 04.03.2024

Поступила после рецензирования: 24.03.2024

Принята к публикации: 28.11.2024

REFERENCES

1. Kalmykov A.G., Bychkov A.Y., Kalmykov G.A., Bugaev I.A., Kozlova E.V. Generative potential of kerogen of the Bazhenov Formation and the possibility of its realization. *Georesursy*, 2017, vol. 2, pp. 165–172. (In Russ.)
2. Morozov N.V., Belenkaya I.Y., Zhukov V.V. 3D modelling of hydrocarbon systems of the Bazhenov Formation: detailing the prediction of physical and chemical properties of hydrocarbons. *PRONEFT*, 2016, vol. 1, pp. 38–45. (In Russ.)
3. Oxeinoyd E.E. *Mineral-matter composition, organic matter type and regional productivity prediction of the Bazhenov horizon in the central part of the West Siberian NGB*. Cand. Diss. Tyumen, 2019. 160 p. (In Russ.)
4. Şen Ş. Prediction of fluid oil and gas volumes of shales with a deep learning model and its application to the Bakken and Marcellus shales. *Sci. Rep.*, 2022, vol. 12, 20842.

5. Jacobs T. The third way: how BKV turned to 'Hybrid' refracs in the Barnett Shale. *Journal of Petroleum Technology*, 2023, vol. 75, no. 11, pp. 20–25.
6. Harju J.A., Malki M.L., Rasouli V. Effect of mineralogy on elastic properties of the Bakken formation: a lab scale rock physics modelling. *Geoenergy Science and Engineering*, 2023, vol. 224. DOI: 10.1016/j.geoen.2023.211432
7. Mellal I., Malki M.L., Latrach A., Ameer-Zamech O., Bakelli O. Multiscale formation evaluation and rock types identification in the Middle Bakken Formation. *GeoEnergy Science and Engineering*, 2023, vol. 4, no. 3, pp. 1951–1964.
8. Harju J.A., Malki M.L., Rabiei M., Rasouli V. Log scale rock physics modelling to study the effect of mineralogy on elastic properties of the Bakken Formation. *Geoenergy Science and Engineering*, 2022. DOI: 10.1016/j.energy.2022.125507.
9. Laalam A., Boualam A., Ouadi H., Djeddar S., Mellal I., Bakelli O., Merzoug A., Chemmakh A., Latreche A., Berrehal B.E. Application of machine learning for mineralogy prediction from well logs in the Bakken Petroleum System. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*, 2022. DOI: 10.2118/210336-MS.
10. Laalam A., Ouadi H., Merzoug A., Chemmakh A., Boualam A., Djeddar S., Mellal I., Djoudi M. Statistical analysis of the petrophysical properties of the Bakken Petroleum System. *Unconventional Resources Technology Conference (URTeC). 57th US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium*. Atlanta, Georgia, 2022. pp. 1–21.
11. Malki M.L., Rasouli V., Saberi M.R., Mellal I., Ozotta O., Sennaoui B., Chellal H. Effect of mineralogy, pore geometry, and fluid type on the elastic properties of the Bakken Formation. *56th US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium*. Santa Fe, New Mexico, USA, July 2022. pp. 30–35.
12. Ouadi H., Mellal I., Chemmakh A., Djeddar S., Boualam A., Merzoug A., Laalam A., Mouedden N., Khetib Y., Rasouli V. New approach for stress-dependent permeability and porosity response in the Bakken Formation. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition* 2022. October 2022. DOI: 10.2118/210104-MS.
13. Safaei-Farouji M., Liu B., Wang L., Wang B., Gentzis T., Ostadhassan M. Simulation of thermal maturity in kerogen type II using hydrous and anhydrous pyrolysis: a case study from the Bakken Shale, United States. *Energy Fuels*, 2023, vol. 37, no. 24, pp. 19602–19620.
14. Pearson C.M., Strickland S., McChesney J., Griffin L.G. Seventy years of unconventional oil production from the Bakken – the impact of completion and stimulation design. *SPE International Hydraulic Fracturing Technology Conference and Exhibition*. Muscat, Sultanate of Oman, 2023. DOI: <https://doi.org/10.2118/215644-MS>
15. Abdi Z., Rimmer S. Organic petrology and geochemistry of the Devonian-Mississippian Bakken formation, Williston Basin, North Dakota. *International Journal of Coal Geology*, 2023, vol. 282, no. 1. DOI: 10.1016/j.coal.2023.104420
16. Kontorovich A.E., Burstein L.M., Livshits V.R., Ryzhkova S.V. Main directions of Russia's oil complex development in the first half of the XXI century. *Vestnik of the Russian Academy of Sciences*, 2019, vol. 89, no. 11, pp. 1095–1104. (In Russ.)
17. Skvortsov M.B., Dakhnova M.V., Kopilevich E.A., Nemova V.D., Surova N.D., Kirsanov A.M., Mozhegova S.V. Methodological approaches to the assessment of oil resources in the sediments of the Bazhenov Formation. *GeoEurasia 2018. Modern methods of study and development of Eurasian subsoil. Proceedings of the International Geological and Geophysical Conference*. Moscow, LLC "PolyPRESS" Publ., 2018. pp. 120–124. (In Russ.)
18. Bembel S.R., Tsepilyaeva A.I. Geological structure and some features of formation of anomalous sections of the Bazhenov Formation in Western Siberia. *Subsoil Use*, 2014, vol. 10, pp. 7–17. (In Russ.)
19. Gatina N.N. *Geological structure and prospects of oil-and-gas bearing capacity of zones of anomalous section of Bazhenov-Achimov deposits of Shirotnoe Priobie*. Cand. Diss. Moscow, 2023. 166 p. (In Russ.)
20. Gatina N.N., Sariyeva M.F., Mukhutdinova O.S., Popkov A.Y., Gavrillov S.S. Key points of seismic data interpretation within the zones of anomalous section of the Bazhenov Formation on the examples of Potochaya, Sporyshevskaya, Vyintoyanskaya and Vatininskaya zones. *Russian Journal of Earth Sciences*, 2023, no. 2, pp. 1–17. DOI: <https://doi.org/10.2205/2023ES000851> (In Russ.)
21. Nezhdanov A.A. *Seismic and geological analysis of oil and gas bearing sediments of Western Siberia for the purpose of prediction and mapping of non-antiklinal traps and hydrocarbon deposits*. Dr. Diss. Tyumen, 2004. 44 p. (In Russ.)
22. Gurari F.G. *Geology and prospects of oil and gas potential in the Ob-Irtysh interfluvium*. Leningrad, Gostoptekhizdat Publ., 1959. 174 p. (In Russ.)
23. Bochkarev V.S., Boyarskikh G.K. Features of the structural plan of the Bazhenov horizon roof. *Structure and oil and gas content of the Bazhenites of West Siberia: trudy ZapSibNIGNI*, 1985. pp. 48–64. (In Russ.)
24. 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., Nalniaeva T.I., Turbina A.S. *The Bazhenov Horizon of West Siberia (Stratigraphy, paleogeography, ecosystem, oil-bearing capacity)*. Novosibirsk, Nauka, 1986. 217 p. (In Russ.)
25. Zakharov V.A. Conditions of formation of the Volga-Berriasian high-carboniferous Bazhenov Formation of West Siberia according to paleoecological data. *Evolution of the biosphere and biodiversity*. Moscow, Association of Scientific Editions CMC, 2006. pp. 552–568. (In Russ.)
26. Fomichev A.S. Depth and bioproductivity of the Bazhenov Sea. *Mountain Bulletin*, 2006, vol. 5, pp. 20–25. (In Russ.)
27. Khabarov V.V., Bartashevich O.V., Nelepchenko D.M. Geological and geophysical characteristics and oil-bearing capacity of bituminous rocks of the Bazhenov Formation of Western Siberia. *Review of VIMS. Geology, Prospecting and Development Methods for Oil and Gas*. Moscow, VIEMS Publ., 1981, pp. 17–32. (In Russ.)
28. Belkin V.I., Efremov E.P., Kaptelinin N.D. Structure and oil bearing capacity of the Bazhenov reservoir. *Lithology and Mineral Resources*, 1985, vol. 2, pp. 108–123. (In Russ.)
29. Khabarov V.V., Kuznetsov G.S. Anomalous sections of the Bazhenov formation in Western Siberia. *Izvestiya vuzov. Oil and Gas*, 2001, vol. 4, pp. 4–12. (In Russ.)
30. Zubkov M.Yu. Peculiarities of uranium distribution in bituminous deposits of the Bazhenov formation (Western Siberia). *Karotazhnik*, 2015, vol. 5, pp. 3–32. (In Russ.)
31. Eder V.G., Zamirailova A.G., Zanin Y.N. Peculiarities of the formation of the Bazhenov Formation at the Jurassic-Cretaceous boundary in the central part of West Siberia. *Proceedings of the VII All-Russian Lithological Meeting*. Novosibirsk, 2013. pp. 309–312. (In Russ.)

32. Zanin Y.N. Rare earth elements in the Bazhenov Formation of the West Siberian sedimentary basin. *Lithosphere*, 2011, 6, pp. 38–54. (In Russ.)
33. Panchenko I.V., Balushkina N.S., Baraboshkin E.Y., Vishnevskaya V.S., Kalmykov G.A., Shurekova O.V. Paleobiotic complexes in the Abalak-Bazhenov deposits of central West Siberia. *Oil and gas geology. Theory and practice*, 2015, vol. 2, pp. 1–29. (In Russ.)
34. Rikhvanov L.P., Usoltsev D.G., Ilyenok S.S., Ezhova A.V. Mineralogical and geochemical features of the Bazhenov Formation of Western Siberia according to nuclear physical and electron microscopic methods. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2015, vol. 326, no. 1, pp. 50–63. (In Russ.)
35. Ushatinsky I.N. Lithology and prospects of oil bearing capacity of Jurassic-Neocomian bituminous sediments of Western Siberia. *Soviet Geology*, 1981, vol. 2, pp. 11–12. (In Russ.)
36. Mikulenko K.I., Ostry G.B. Landslide formations in Mesozoic sediments of the West Siberian Lowland. *Lithology and Mineral Resources*, 1968, vol. 5, pp. 111–118. (In Russ.)
37. Yasovich G.S. Prospects of oil and gas bearing capacity of zones of development of anomalous sections of the Bazhenov Formation of Middle Priob'ye. *Materials on the geology of oil and gas bearing areas of Western Siberia*. Tyumen, Tr. ZapSibNIGNI, 1981, vol. 166, pp. 51–59. (In Russ.)
38. Nezhdanov A.A., Ushatinsky I.N. Rock composition and formation conditions of anomalous sections of the Bazhenov Formation. *Geochemistry of oil and gas formation processes in Mesozoic sediments of West Siberia: Proc. ZapSibNIGNI*, 1986, pp. 118–127. (In Russ.)
39. Grishkevich V.F. Anomalous sections of the Bazhenov formation: a model of formation and problems of geometrization. *Tyumen 2015 – Deep Subsoil and Science Horizons*. Tyumen, Russia, March 23–27, 2015. DOI: 10.3997/2214-4609.201412065. (In Russ.)
40. Grishkevich V.F., Lagutina S.V., Panina E.V., Dolmatova S.S., Laptev A.G., Toropov E.S., Starikov V.S., Khoroshev N.G., Blinkova A.V. Geomechanical model of formation of anomalous sections of the Bazhenov Formation: physical modelling and practical application. *Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields*, 2017, vol. 3, pp. 33–47. (In Russ.)
41. Zaripov O.G., Sonich V.P. A new type of the Bazhenov Formation section and prospects for increasing recoverable reserves in the territory of Surgutneftegaz operations. *The ways of realization of oil-and-gas potential of Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Ugra. Materials of IV scientific-practical conference*. Khanty-Mansiysk, 2001. pp. 143–153. (In Russ.)
42. Mkrtchyan O.M. About some sedimentation models of productive strata of the Upper Jurassic Vasyugan complex of Western Siberia. *Bulletin of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug Subsoil User*, 2005, vol. 15, pp. 19–24.
43. Gutman I.S. A comprehensive substantiation of the tectonic nature of anomalous sections of the Upper Jurassic Bazhenov Formation and Lower Cretaceous Achimov Formation of Western Siberia. Part 1. Anomalous sections of the Upper Jurassic Bazhenov Formation and Lower Cretaceous Achimov formation. *Actual problems of oil and gas*, 2019, vol. 3, no. 26, pp. 1–5. (In Russ.) DOI: 10.29222/ipng.2078-5712.2019-26.art5.
44. Panchenko I.V., Nemova V.D., Smirnova M.E., Ilyina M.V., Baraboshkin E.Y., Ilyin V.S. Stratification and detailed correlation of the Bazhenov horizon in Central West Siberia according to lithological and paleontological core studies and GIS. *Geology of Oil and Gas*, 2016, vol. 6, pp. 22–34. (In Russ.)
45. De Vernal A., Bilodeau G., Henry M. Micropaleontological preparation techniques and analyses. Notes prepared for students of course SCT 8245, Département des Sciences de la Terre, UQAM, Montréal. *Les Cahiers du GEOTOP*, 2010, vol. 3, pp. 32.
46. Tyszká J., Oliwkiewicz-Mikłasińska M., Gedl P., Kaminski M.A. *Methods and applications in micropalaeontology*. Poland, Polska Akademia Nauk, 2005. Vol. 124, 410 p.
47. Just T. Mesozoic plant microfossils and their geological significance. *Chicago Natural History Museum*, 1951, vol. 25, no. 6, pp. 729–735.
48. Traverse A. Systematic methods for Mesozoic and Cenozoic plant microfossils. *Micropaleontology*, 1956, vol. 2, no. 4, pp. 396–398.
49. Saraswati P.K., Srinivasan M.S. *Micropaleontology: principles and applications*. Front cover. New York, Springer, 2015. 224 p.
50. Chen X.H., Chen Z.L., Shao Z.G., Zhang Y.P., Li B., Ding W.C. Theory of tectonic relief analysis and its application in geoscience. *Acta Geol. Sin.*, 2022, vol. 96, no. 1, pp. 284–296.
51. Miall A.D. *Principles of sedimentary basin analysis*. 3rd enlarged ed. Berlin, Springer-Verlag, 2000. 616 p.
52. Allen P.A., Allen J.R. *Basin analysis: principles and applications*. 2nd ed. Malden, Oxford, Wiley-Blackwell, 2004. 560 p.

Information about the authors

Dmitry A. Staroselets, Deputy Director for Production, GoodGeo LLC, 57, Respubliki street, Tyumen, 625000, Russian Federation. d_star1997@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0007-4262-8639>

Pavel V. Smirnov, Cand. Sc., Leading Researcher, Kazan Federal University, 4/5, Kremlevskaya street, Kazan, 420111, Russian Federation. geolog.08@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2264-2269>

Anatoly V. Trenkin, Head of the Department for Licensing of Mineral resources, project activities, Gazpromneft-Khantos Limited Liability Company, 56, Lenin street, Khanty-Mansiysk, 628007, Russia. Trenkin.AV@hantos.gazprom-neft.ru

Received: 04.03.2024

Revised: 24.03.2024

Accepted: 28.11.2024