

УДК 551.72/.82, 550.834, 553.98

DOI 10.47148/0016-7894-2024-1-27-44

Особенности геологического строения и перспективы нефтегазоносности рифей-вендских отложений на территории Юрюзано-Айской впадины Предуральяского краевого прогиба

© 2024 г. | Н.К. Фортунатова, С.И. Харченко, Г.А. Белоусов, А.Г. Швец-Тэнэта-Гурий, А.Б. Городков, Д.Ю. Сотникова

ФГБУ «ВНИГНИ», Москва, Россия; fortunatova@vnigni.ru; kharchenko@vnigni.ru; belousov@vnigni.ru; agorodkov@mail.ru; sotnikova.diana@vnigni.ru

Поступила 30.11.2023 г.

Доработана 07.11.2023 г.

Принята к печати 11.12.2023 г.

Ключевые слова: Юрюзано-Айская впадина; Предуральский краевой прогиб; рифей; венд; Камско-Бельский авлакоген; перспективы нефтегазоносности.

Аннотация: На основе комплексного анализа данных о вещественном составе, структурно-текстурных особенностях пород, результатов лабораторного исследования керна и шлифов глубоких скважин, интерпретации материалов ГИС и сейсмических разрезов МОГТ-2D выявлены особенности геологического строения отложений рифея и венда на территории современной Юрюзано-Айской впадины. Установлено сложное блоковое строение комплекса в западной части территории, а также наличие складчатых структур взбросово-надвигового типа в восточной части. Построена геологическая карта рифей-вендских отложений, выходящих на поверхность преддевонского размыва. Выявлены зоны распространения и отсутствия верхнепротерозойских отложений. В южной части территории установлен наиболее полный разрез рифея с максимальными мощностями (13–15 км). Максимальные мощности отложений венда (200–300 м) наблюдаются на юго-западе. В северной части выявлен палеосвод. Проведен формационный анализ отложений. В разрезе рифея выделены красноцветные грубообломочные континентальные формации ранней стадии рифтогенеза, сероцветные и пестроцветные песчано-глинистые, глинисто-карбонатные и карбонатные прибрежно- и мелководно-морские формации зрелой стадии рифтогенеза, авандельтовские формации поздней стадии рифтогенеза. В вендских отложениях определены типичные платформенные глинисто-алевролитно-песчаные формации. Построены литолого-палеогеографические карты. Для калтасинского времени раннего рифея установлены зоны развития прибрежно-морских отложений приливно-отливных равнин, мелководного шельфа, умеренно глубоководных отложений открытого шельфа. Для отложений среднего рифея установлены зоны накопления прибрежно-морских и мелководно-морских отложений. Для позднего рифея выделены зоны прибрежно-морских и мелководно-морских терригенных, лагунных и мелководно-морских карбонатных отложений. В поздневендских отложениях выявлены зоны прибрежно-морских и мелководно-морских образований. Изучение коллекторских свойств пород показало отсутствие коллекторов порового типа и преобладание коллекторов трещинного типа. Геохимическими исследованиями установлено, что степень изученности органического вещества для полной и объективной оценки нефтегазопроизводящих возможностей пород недостаточна. Поэтому вопрос о перспективности рифея остается нерешенным и требует дальнейшего изучения. Вендские отложения относятся к перспективному малоизученному комплексу.

Для цитирования: Фортунатова Н.К., Харченко С.И., Белоусов Г.А., Швец-Тэнэта-Гурий А.Г., Городков А.Б., Сотникова Д.Ю. Особенности геологического строения и перспективы нефтегазоносности рифей-вендских отложений на территории Юрюзано-Айской впадины Предуральяского краевого прогиба // Геология нефти и газа. – 2024. – № 1. – С. 27–44. DOI: 10.47148/0016-7894-2024-1-27-44.

Riphean-Vendian deposits in Yuryuzano-Aisky depression of Urals Foreland Basin: features of geological structure and petroleum potential

© 2024 | N.K. Fortunatova, S.I. Kharchenko, G.A. Belousov, A.G. Shvets-Teneta-Guriy, A.B. Gorodkov, D.Yu. Sotnikova

All-Russian Research Geological Oil Institute (VNIIGNI), Moscow, Russia; fortunatova@vnigni.ru; kharchenko@vnigni.ru; belousov@vnigni.ru; agorodkov@mail.ru; sotnikova.diana@vnigni.ru

Received 30.11.2023

Revised 07.11.2023

Accepted for publication 11.12.2023

Key words: Yuryuzano-Aisky depression; Urals Foreland Basin; Riphean; Vendian; Kamsky-Bel'sky aulacogen; petroleum potential.

Abstract: Basing on an integrated analysis of data on composition, structural and textural features of rocks, results of core laboratory experiments and thin section studies, interpretation of well logs and 2D CDP seismic data, the authors identified the features of geological structure of Riphean and Vendian deposits in the present-day Yuryuzano-Aisky depression. They revealed the complicated block structure of the sequence in the western part of the area, and presence of folded structures of reverse fault and thrust type in the eastern part. Geological map of Riphean-Vendian deposits coming out to the surface of pre-Devonian erosion is created. Zones of occurrence and absence of Upper Proterozoic deposits are revealed. The most complete Riphean column with maximum thickness of 13–15 km is identified in the southern part of the study area. Min-

imum thickness of Vendian deposits (200–300 m) are observed in the south-west. Paleo-arch is revealed in the northern part. Formation analysis of the deposits is conducted. Red-coloured continental rudaceous formations of the early rifting stage, grey-coloured and variegated sandy-argillaceous, argillaceous-carbonate, and carbonate coastal- and shallow-marine formations of the mature rifting stage, and delta-front formations of the later stage of rifting are identified in the Riphean interval. Typical platform siltstone-sandy-argillaceous formations are identified in Vendian series. Lithologic and paleogeographic maps are created. Zones of occurrence of coastal-marine deposits of tidal plains, shallow-marine shelf, moderately deepwater deposits of open shelf are revealed in the Early Riphean Kaltasinsky time. Zones of coastal-marine and shallow-marine sediment accumulation are identified for Middle Riphean deposits. Zones of terrigenous coastal-marine and shallow-marine, lagoonal and shallow-marine carbonate deposits are revealed for Later Riphean time. Zones of coastal-marine and shallow-marine deposits are identified in Later Devonian series. Studies of rock reservoir properties showed the lack of porous reservoirs and predominance of those fractured. In the course of geochemical studies, it is found that exploration maturity of Organic Matter is insufficient for complete and unbiased estimate of oil and gas generation potential of the rocks. That is why the issue of Riphean petroleum potential remains undecided and requires further consideration. Vendian deposits are a part of a promising underexplored sequence.

For citation: Fortunatova N.K., Kharchenko S.I., Belousov G.A., Shvets-Teneta-Gurii A.G., Gorodkov A.B., Sotnikova D.Yu., Riphean-Vendian deposits in Yuryuzano-Aisky depression of Urals Foreland Basin: features of geological structure and petroleum potential. *Geologiya nefi i gaza*. 2024;(1):27–44. DOI: 10.47148/0016-7894-2024-1-27-44. In Russ.

Введение

В настоящее время на территории Волго-Уральской нефтегазоносной провинции открытые в палеозойских отложениях месторождения УВ находятся на завершающей стадии разработки. В связи с этим возникает вопрос поиска новых перспективных объектов в додевонском комплексе, в интервалах которого отмечаются нефте- и газопоявления. Результаты исследования перспектив нефтегазоносности рифей-вендских отложений представлены в работах Т.В. Карасевой, С.В. Башковой, М.В. Никитиной, Н.П. Егоровой, О.В. Ситчихина, В.Н. Савинова и др. Некоторые авторы предполагают связь крупных скоплений нефти и газа в палеозое с мощным древним рифей-вендским комплексом как с основным источником УВ [1].

Отсутствие положительных результатов прогноза и поисков залежей в рифейском комплексе связано с их недостаточной изученностью бурением и сейсморазведкой, большими глубинами залегания. Поэтому при проведении в 2020–2022 гг. геолого-геофизических работ на территории, включающей Юрюзано-Айскую впадину и восточный склон Башкирского свода, наряду с решением вопросов о перспективности палеозойского чехла авторы статьи подробно изучали разрез рифей-вендских отложений. Для этого были проинтерпретированы разрезы более чем 30 глубоких скважин, изучен керн скв. Леузинская-1, проведены петрографические исследования пород в шлифах (скважины Манчажская-5, Месягутовские-5, 7, Леузинская-1, Юкаликулевская-4), проанализированы результаты геохимических исследований пород из скважин Леузинская-1 и Восточно-Аскинская-1, проведенных в ФГБУ «ВНИГНИ», АО «СНИИГТиМС», ООО «БашНИПИнефть».

Выполнены специальные сейсморазведочные работы МОГТ-2D в объеме 1267 пог. км. Обработку полученных сейсмических данных осуществляли с использованием отечественных программных комплексов SeisCont и Prime. Интерпретация данных, а также переинтерпретация ретроспективных

профилей МОГТ-2D выполнялись в программном комплексе структурно-формационного прогнозирования (суммарно 5300 пог. км).

Контур участка проведенных геолого-разведочных работ с расположением сейсмических профилей и вскрывших рифей-вендский комплекс скважин приведен на рис. 1.

Формационное строение рифей-вендских отложений

Рифейские отложения в Волго-Уральском субрегионе установлены в пределах авлакогенов (палеорифтов). Изучаемая территория Юрюзано-Айской впадины приурочена к восточной части Камско-Бельского авлакогена (см. рис. 1).

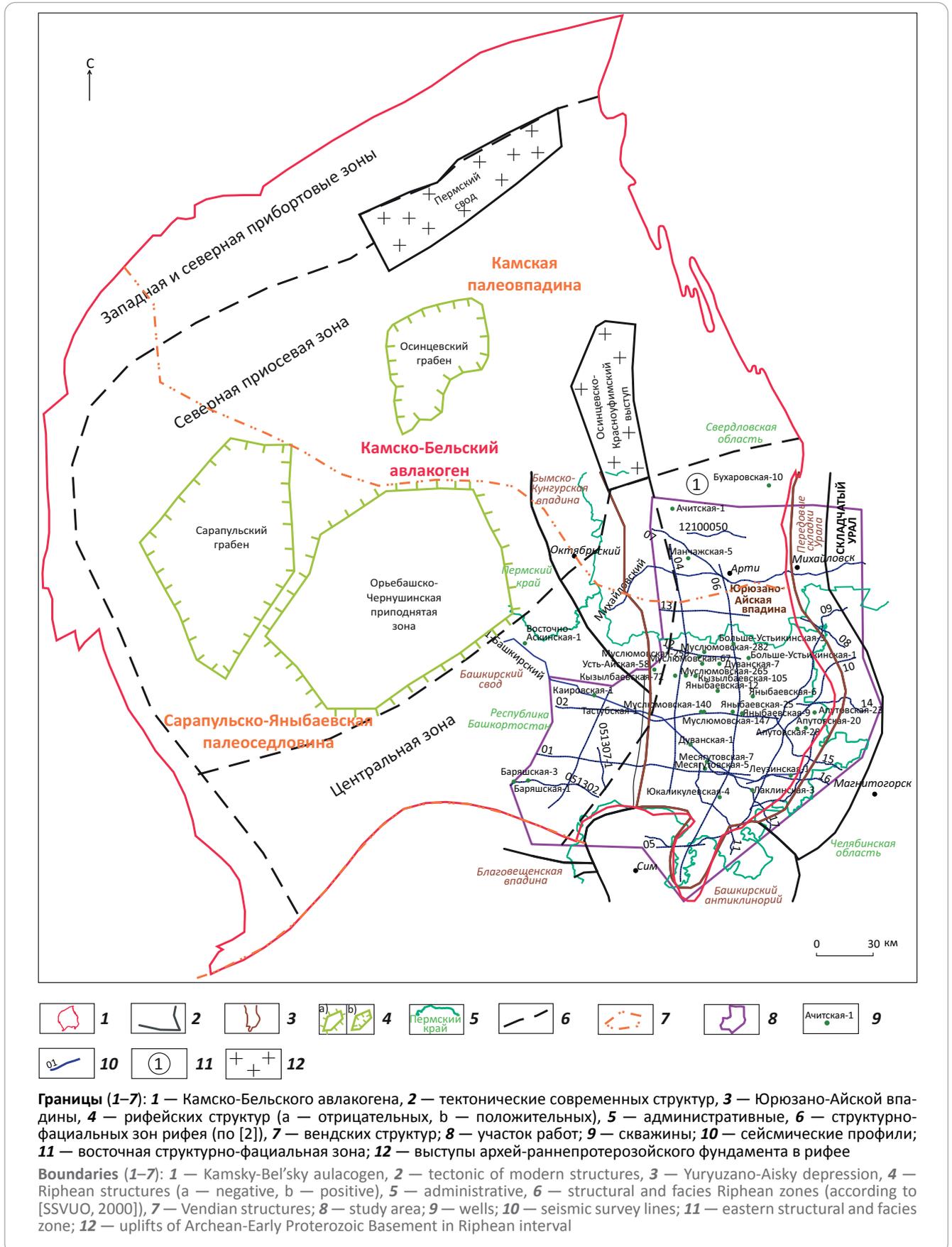
Литолого-стратиграфическая характеристика пород допалеозойского комплекса составлена на основе многолетних исследований В.И. Козлова, В.Н. Пучкова, Н.Д. Сергеевой, Т.В. Ивановой, А.А. Клевцовой и др. и приведена согласно утвержденной Стратиграфической схеме рифейских и вендских отложений Волго-Уральской области [2].

Рифейские отложения развиты по всей площади Юрюзано-Айской впадины и характеризуются большими мощностями, глубинами залегания более 2,5–3,5 км. Они представлены нижним, средним и верхним отделами рифея.

Разрез *нижнего рифея* представлен сарапульской свитой и кырпинской серией в объеме прикамской и орьебашской подсерий. Отложения сарапульской свиты и прикамской подсерии в пределах Юрюзано-Айской впадины не вскрыты, но они подтверждены бурением на западном борту Камско-Бельского авлакогена в скважинах Сарапульская-1, Тюрюшевская-2, Ново-Урнякская-50. Следовательно, можно предположить их наличие и на восточном борту авлакогена. Сарапульская свита представлена грубообломочными (гравелитами и конгломератами) и глинисто-песчаными отложениями. Прикамская подсерия выделена в объеме петнурской, норкинской, ротковской и минаевской свит. Породы петнурской и сарапульской

Рис. 1. Схема изученности территории Юрюзано-Айской впадины бурением и сейсморазведкой и тектоническое районирование рифей-вендского структурного этажа

Fig. 1. Diagram of drilling and seismic survey coverage of Yuryuzano-Aisky depression and tectonic zoning of Riphean-Vendian structural level



свит характеризуются схожим составом и структурно-текстурными особенностями. Норкинская свита сложена красно-бурыми и розовыми алевролитами с прослоями песчаников, реже доломитов, аргиллитов и мергелей. Ротковская свита представлена преимущественно красноцветными разномерными песчаниками с подчиненными прослоями алевролитов аналогичного состава и облика, гравелитов, мелкогалечных конгломератов и аргиллитов. Минаяевская свита сложена красно-бурыми, розовыми и светло-серыми алевролитами с подчиненными прослоями светло-серых, реже серых и розовато-серых песчаников и серых мелкозернистых доломитов. Иногда породы карбонатизированы и содержат подчиненные прослои гравелитов, конгломератов, аргиллитов и доломитов, в которых были определены микрофитоциты I комплекса (нижнерифейского) [3]. Между свитами прикамской подсерии отмечаются постепенные переходы. Суммарная вскрытая мощность докалтасинских отложений на западном борту Камско-Бельского авлакогена около 4,5 км.

Орьебашская подсерия представлена в объеме калтасинской, надеждинской и кабаковской свит. Калтасинская свита по особенностям литологического состава разделяется на три подсвиты: саузовскую, арланскую и ашитскую. Саузовская подсвита сложена доломитами с редкими прослоями алевролитов и аргиллитов, арланская подсвита — тонкослоистым чередованием сероцветных алевролитов, аргиллитов, мергелей, доломитов и известняков, ашитская подсвита — серыми, темно-серыми, розовато-серыми доломитами с подчиненными прослоями мергелей и аргиллитов с частыми примазками черного глинистого и глинисто-битуминозного материала на поверхностях напластования. Местами отложения прорваны интрузиями. На территории Юрюзано-Айской впадины вскрытая мощность калтасинской свиты составляет 315–448 м (в скважинах Манчажская-5 и Больше-Устьикинская-3).

Надеждинская свита представлена преимущественно красноцветными песчаниками и глинисто-алевролитовыми доломитами с прослоями метаморфизованных вулканогенно-осадочных пород. Отложения надеждинской свиты развиты локально в северной приосевой и центральной зонах Камско-Бельского авлакогена и на изучаемой территории Юрюзано-Айской впадины они, по всей видимости, отсутствуют.

Кабаковская свита характеризуется трансгрессивным строением и сложена в нижней части пестроцветными песчаниками с прослойками алевролитов, аргиллитов, мергелей, доломитов (урмиязинская подсвита), в верхней части (кубиязинская подсвита) отмечается тонкое переслаивание темно-серых, почти черных алевролитов, аргиллитов, мергелей и доломитов. На территории Юрюзано-Айской впадины кабаковская свита мощностью 75–280 м вскрыта скважинами Больше-Устьикин-

ские-1–3. Полная мощность (1004 м) кабаковской свиты пройдена скв. Восточно-Аскинская-1 (Башкирский свод).

Отложения среднего рифея представлены в объеме серафимовской серии. Разрез начинается с тукаевской свиты, сложенной розовыми, красновато-коричневыми, реже светло- и зеленовато-серыми плотными кварцевыми песчаниками с резко подчиненными прослоями алевролитов и аргиллитов. В Юрюзано-Айской впадине тукаевская свита со вскрытой мощностью 178–186 м отмечается в скважинах Леузинская-1, Дуванская-7, Каировская-1. По сейсмическим данным мощность тукаевской свиты достигает 500–630 м.

Выше залегает ольховская свита, характеризующаяся двучленным строением. Нижняя (акбердинская) подсвита мощностью от 56 до 112 м представлена аргиллитами черного цвета с прослоями светло-серых алевролитов и редких песчаников. Верхняя (сихонкинская) подсвита сложена чередованием красно-бурых, розовых, красновато-коричневых, реже ярко-зеленых аргиллитов, алевропесчаников, доломитовых мергелей и доломитов. В Юрюзано-Айской впадине ольховская свита вскрыта многими скважинами. Полный разрез ольховской свиты мощностью 364 м представлен в скв. Леузинская-1.

Усинская свита сложена бледно-розовыми, светло-серыми и красно-бурыми песчаниками с прослоями более темных алевролитов, реже аргиллитов и вскрыта скважинами Кушкульская-100 и Северо-Кушкульская-1 (Башкирский свод) на 345 и 172 м. В пределах Юрюзано-Айской впадины усинская свита бурением не установлена.

Отложения верхнего рифея выделяются в объеме абдулинской серии. Разрез верхнего рифея начинается с леонидовской свиты, представленной буровато-розовыми и светло-серыми кварцевыми песчаниками, значительно реже алевролитами, с характерными мучнисто-белыми скоплениями каолинита, с подчиненными прослоями красно-бурых аргиллитов. Леонидовская свита мощностью 504 и 200 м пройдена при бурении скважин Кушкульская-100 и Северо-Кушкульская-1. На территории Юрюзано-Айской впадины леонидовская свита отсутствует.

Приютовская свита выделяется в объеме четырех подсвит: базлыкской, кигинской, кожайской и кармалкинской. Базлыкская подсвита мощностью до 50–113 м сложена серыми, темно- и розовато-серыми песчаниками крупно-среднезернистыми, разномерными, с гравием, часто трещиноватыми, с прослойками алевролитов, доломитов, аргиллитов. Отложения кигинской подсвиты мощностью до 90–157 м представлены алевролитами, песчаниками и доломитами, причем доля последних постепенно возрастает в разрезе. Отмечаются единичные прослойки глауконита. В разрезе кожайской подсвиты мощностью до 17–135 м преобладают

песчаники светло-серые, почти белые, плохо отсортированные, с прослоями аргиллитов и реже доломитовых мергелей. Кармалкинская подсвета мощностью до 29–270 м представлена переслаиванием серых, темно-серых, почти черных алевролитов, аргиллитов, мергелей и доломитов, содержащих прослой глауконита.

В скважинах Апутовская-18 и Яныбаевская-9 Е.В. Чибриковой была выделена грязнушинская свита, возраст которой был определен как силур-раннедевонский [4]. Позднее эти отложения были отнесены к приютовской свите раннего рифея [5, 6].

Приютовская свита вскрыта многими скважинами на Апутовской, Яныбаевской, Муслюмовской, Леузинской площадях. Суммарная мощность свиты 236–494 м.

Шиханская свита сложена известняками серыми, серовато-коричневыми, коричневатокрасными, тонко-, микро-, скрытокристаллическими, со спорадической алевроитовой примесью кварца, неравномерно доломитизированными, перекристаллизованными, субпараллельно линзовидно-волнисто-слоистыми за счет тонких прослоек железисто-глинистого материала и аргиллита алевроитового. Отмечается своеобразная ленточная слоистость, обусловленная послонным обогащением основной массы известняков гидроксидами железа. В скв. Леузинская-1 был установлен абсолютный возраст шиханской свиты, который составляет 900 млн лет и соответствует позднему рифею [7]. Шиханская свита мощностью от 162 до 202 м вскрыта в скважинах Леузинская-1, Месягутовская-7, Юкаликулевская-4.

Леузинская свита завершает разрез верхнего рифея. На площади исследования леузинская свита вскрыта только скв. Леузинская-1, где она представлена мелко- и среднезернистыми доломитами серыми и темно-серыми, местами слабобитуминозными, с подчиненными прослоями известняков в основании и с тонкими темно-серыми углеродисто-глинистыми и глинистыми слоями. Мощность леузинской свиты 232 м.

На территории Юрюзано-Айской впадины отсутствуют отложения раннего венда. Отложения позднего венда приурочены к Сарапульско-Яныбаевской палеоседловине (см. рис. 1) и представлены бижбулякским комплексом в объеме байкибашевской и старопетровской свит каировской серии.

Байкибашевская свита сложена зеленовато-, розовато-серыми и темно-коричневыми неравномерно-зернистыми полимиктовыми песчаниками с примесью гравийно-галечного материала и подчиненными прослоями алевролитов и аргиллитов. Последние сосредоточены преимущественно в средней части разреза свиты. В пределах Юрюзано-Айской впадины байкибашевская свита вскрыта в скв. Каировская-1. Мощность байкибашевской свиты изменяется от 8 до 185 м.

Старопетровская свита (мощностью до 250 м) вскрыта многими скважинами на Дуванской, Кызылбаевской, Каировской и других площадях и представлена зеленовато-серыми аргиллитами в различной степени алевроитистыми с прослоями и микропрослойками более светлоокрашенных алевролитов, черных углеродсодержащих аргиллитов и реже полимиктовых песчаников. С подстилающей байкибашевской свитой старопетровская свита связана постепенным переходом.

В настоящее время общепризнанным считается, что образование и распространение рифейских пород в Волго-Уральском субрегионе обусловлено исключительно палеорифтами (авлакогенами) и контролируется процессами рифтогенеза. Территория Юрюзано-Айской впадины приурочена к восточному борту Камско-Бельского авлакогена, заложение которого произошло в рифейское время. Начальная стадия погружения рифта, как правило, сопровождалась активной вулканической деятельностью. Тектонические разломы в фундаменте служили проводящими каналами для подъема магмы, способствовавшего образованию даек, пластовых тел, гипабиссальных интрузий.

Процессы рифтогенеза происходили на протяжении всей геологической истории от протерозоя до фанерозоя. И древние авлакогены, и молодые рифты характеризуются близкими генетическими признаками, некоторыми сходными чертами, общими тенденциями в развитии. Поэтому схема строения и развития рифтового бассейна показана на примере позднеюрского бассейна (рис. 2).

В образовании рифейских отложений выделяется три крупных этапа рифтогенеза: ранне-, средне- и позднерифейский. Каждый этап подразделяется на три основные стадии: раннюю, зрелую и позднюю, в течение которых были сформированы породы карбонатного, терригенно-карбонатного и терригенного составов.

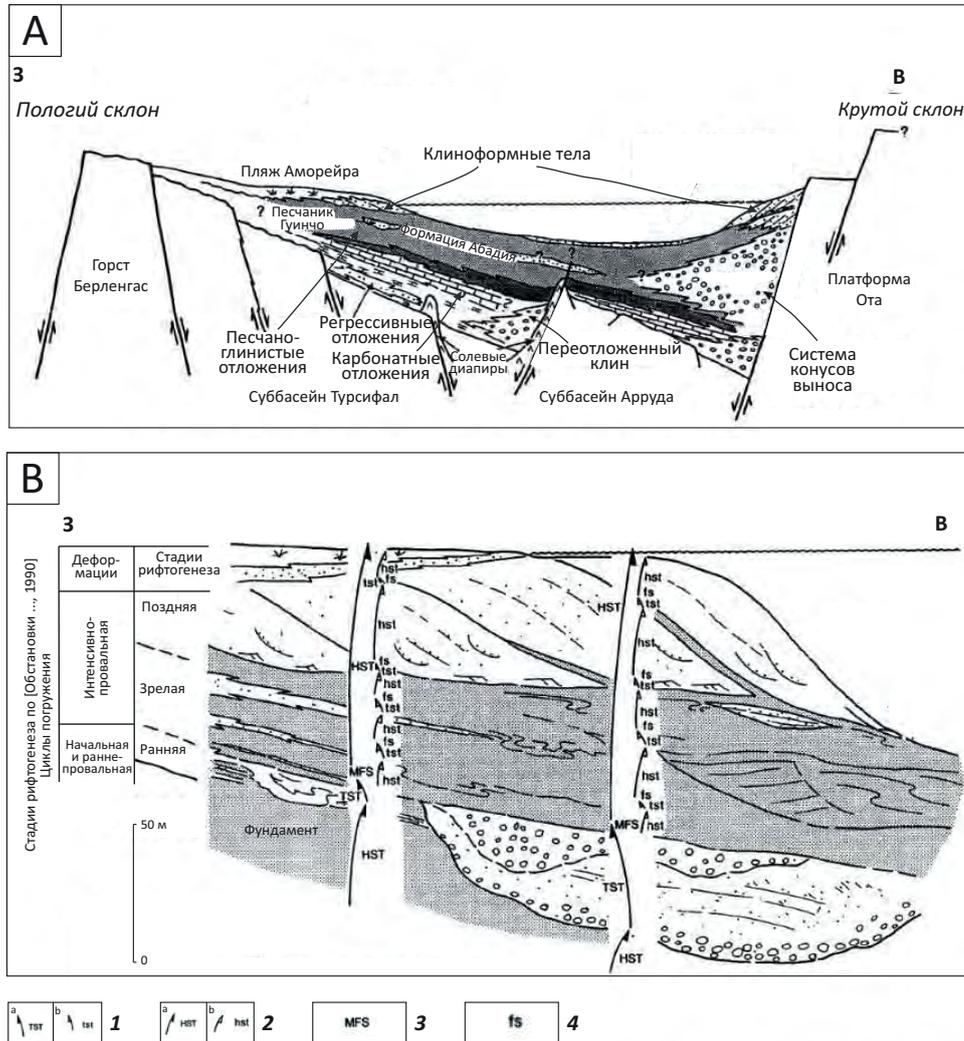
На ранних стадиях рифтогенеза формировались трансгрессивные базальные красноцветные грубообломочно-песчано-глинистые формации, часто в комплексе с эффузивными формациями. Красноцветные формации накапливались в окислительных полифациальных обстановках с образованием пролювиальных, делювиальных, аллювиальных, реже озерных или лагунных отложений, содержащих незначительное количество ОБ.

На зрелой стадии рифтогенеза в краевых частях отлагались прибрежно-морские пестроцветные тонкообломочные терригенные формации, а во внутренних частях в условиях удаленности от области сноса обломочного материала — мощные комплексы карбонатных формаций, образование которых является характерной чертой перикратонных рифтов. Карбонатная формация представлена собственно карбонатной бентогенной и глинисто-карбонатной субформациями и, как правило, характеризуется повышенным содержанием ОБ.



Рис. 2. Схема строения и развития рифтового бассейна на примере позднеюрского Лузитанского бассейна, Западная Португалия [8]

Fig. 2. Scheme of structure and evolution of rift basin by the example of Later Jurassic Lusitanian Basin in Western Portugal [8]



A — схема строения Лузитанского бассейна, B — детальный разрез полого склона рифта.

Системные тракты (1, 2): 1 — трансгрессивный (a — высшего порядка, b — низшего порядка), 2 — уровня моря (a — высшего порядка, b — низшего порядка); **поверхности (3, 4):** 3 — максимального потока, 4 — потока

A — scheme of Lusitanian Basin structure, B — detailed cross-section of smooth rift slope.

System Tracts (1, 2): 1 — transgressive (a — higher order, b — lower order), 2 — sea level (a — higher order, b — lower order); **surfaces (3, 4):** 3 — Maximum Flooding, 4 — Flooding

На поздней стадии рифтогенеза формировались сероцветные авандельтовые песчано-алеврито-глинистые формации, образующие систему конусов выноса. Для относительно удаленных от источника сноса частей авандельты типично повышенное количество ОВ.

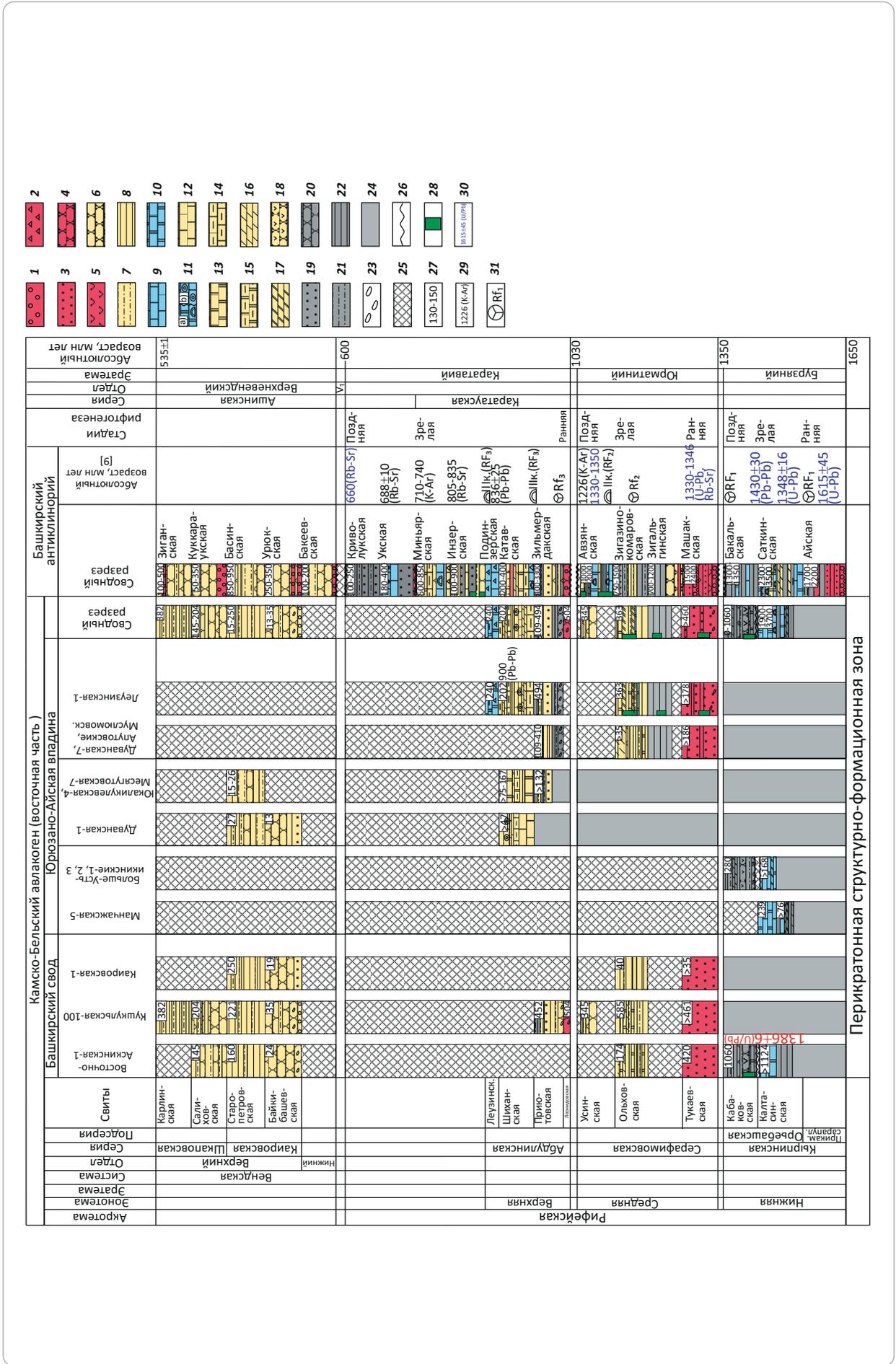
Стадийность развития рифейского бассейна отражается вертикальными формационными рядами, в последовательности которых наблюдается определенная закономерность. Территория Юрюзано-Айской впадины приурочена к перикратонной структурно-формационной зоне, особенностями которой являются полнота разреза, существенно терригенный разрез, наличие мощных карбонат-

ных толщ, меньшее проявление размылов по сравнению с внутренними частями рифтов.

Красноцветная прибрежно-континентальная терригенная формация ранней стадии рифтогенеза в раннем рифее представлена сарапульской свитой и прикамской подсерией кырпинской серии, в среднем рифее — тукаевской свитой серафимовской серии, в позднем рифее — леонидовской свитой абдулинской серии (рис. 3). Отложения сарапульской свиты и прикамской подсерии хорошо коррелируются с красноцветными песчано-конгломератовыми толщами айской свиты из стратотипического разреза нижнего рифея с прослоями трахибазальтов, трахиандезитов и их туфов в нижней части [3].



Рис. 3. Формационные модели рифей-вендских отложений
Fig. 3. Formation models of Riphean-Vendian deposits



Усл. обозначения к рис. 3

Legend for Fig. 3

Красноцветная вулканогенно-терригенная континентальная формация начальных стадий рифтогенеза (1–5): 1 — красноцветные грубообломочные континентальные отложения — конгломераты, гравелиты, 2 — брекчии, 3 — красноцветные разнозернистые кварцевые, 4 — красноцветные полимиктовые песчаники, 5 — вулканогенные отложения основного состава; **формации зрелых стадий рифтогенеза (6–18):** *пестроцветная терригенная прибрежно-морская (6–8):* 6 — пестроцветные полимиктовые песчаники, 7 — пестроцветные полимиктовые алевролиты, 8 — пестроцветные аргиллиты; *карбонатные формации: собственно карбонатная подформация (9–11):* 9 — серые и темно-серые известняки, 10 — серые и темно-серые доломиты, 11 — известняки и доломиты: а — со строматолитами, b — с микрофитолитами; *пестроцветная глинисто-карбонатная прибрежно-морская подформация (12–18):* 12 — пестроцветные известняки, 13 — пестроцветные доломиты, 14 — пестроцветные глинистые известняки, 15 — пестроцветные глинистые доломиты, 16 — пестроцветные мергели, 17 — пестроцветные доломитовые мергели, 18 — полимиктовые песчаники с включениями ангидритов; *сероцветная терригенная авандельтовaя формация поздних стадий рифтогенеза (19–25):* 19 — кварцевые песчаники, 20 — разнозернистые полимиктовые песчаники, 21 — полимиктовые алевролиты, 22 — аргиллиты, глинистые сланцы, 23 — включения гравия, гальки, 24 — отложения не вскрыты; распространение по данным сейсморазведки, 25 — отсутствие отложений; 26 — стратиграфический разрыв; 27 — мощность отложений, м; 28 — секущие интрузии; 29 — абсолютный возраст, млн лет (метод определения); 30 — абсолютный возраст в секущих интрузивных телах, млн лет (метод определения); 31 — микрофоссилии

Red-coloured terrigenous-volcanogenic continental formation of early rifting stages (1–5): 1 — red-coloured rudaceous continental deposits — conglomerate, gravelstone, 2 — breccia, 3 — red-coloured poorly sorted quartz, 4 — red-coloured polymictic sandstone, 5 — basic volcanogenic deposits; **formations of mature rifting stages (6–18):** *variegated coastal-marine terrigenous (6–8):* 6 — variegated polymictic sandstone, 7 — variegated polymictic siltstone, 8 — variegated claystone; *carbonate formations: proper carbonate sub-formation (9–11):* 9 — grey and dark-grey limestone, 10 — grey and dark-grey dolomite, 11 — limestone and dolomite with: a — stromatolites, b — microphytoliths; *variegated carbonate-argillaceous coastal-marine sub-formation (12–18):* 12 — variegated limestone, 13 — variegated dolomite, 14 — variegated argillaceous limestone, 15 — variegated argillaceous dolomite, 16 — variegated marl, 17 — variegated dolomitic marl, 18 — polymictic sandstone with anhydrite inclusions; *grey-coloured terrigenous delta front formation of late rifting stages (19–25):* 19 — quartz sandstone, 20 — poorly sorted polymictic sandstone, 21 — polymictic siltstone, 22 — claystone, argillaceous shale, 23 — coarse sand, pebble inclusions, 24 — deposits are not encountered; occurrence according to seismic data, 25 — sediments lacking; 26 — range of lost strata; 27 — deposit thickness, m; 28 — transgressive intrusions; 29 — absolute age, Ma (method of determination); 30 — absolute age in transgressive intrusive bodies, Ma (method of determination); 31 — micro-fossils

Формационным аналогом тукаевской свиты на Урале считается зигальгинская свита.

Карбонатная формация зрелой стадии рифтогенеза в раннем рифее представлена калтасинской свитой, в среднем рифее — ольховской свитой, в позднем рифее — шиханской и леузинской свитами. Пестроцветная терригенная прибрежно-морская формация выделяется в позднем рифее и представлена приютовской свитой (см. рис. 3).

Формационным аналогом калтасинской свиты на Урале является саткинская свита, ольховской свиты — зигазино-комаровская свита, шиханской свиты — катавская свита, леузинской свиты — подинзерская толща, приютовской свиты — зильмердакская свита.

Авандельтовaя формация в раннем рифее представлена кабаковской свитой. В разрезе среднего и позднего рифея формации поздней стадии рифтогенеза не сохранились.

Для вендских отложений характерно развитие типичных платформенных глинисто-алевролитопесчаных формаций. Формационным аналогом бижбулякского комплекса венда является ашинская серия западного склона Южного Урала.

Интерпретация сейсмических профилей МОГТ-2D и построение геологической карты рифей-вендских отложений, выходящих на поверхность преддевонского размыва

Глубина проинтерпретированных сейсмических профилей МОГТ-2D охватывает палеозойскую и допалеозойскую части разреза, включая образования кристаллического фундамента.

В качестве основных маркирующих ОГ в допалеозойском комплексе выделяются ОГ V (кровля складчатого фундамента), ОГ IV и III (подошва и кровля калтасинской свиты нижнего рифея соответственно), ОГ II (подошва венда). В качестве дополнительных реперов прослеживались ОГ IVa и IVc (кровля и подошва арланской подсвиты калтасинской свиты), а также ОГ, соответствующие подошвам шиханской и приютовской свит в позднем рифее, кровле тукаевской свиты в среднем рифее, кровле кабаковской, ротковской, норкинской, петнурской и сарапульской свит в раннем рифее.

Для привязки намеченных для корреляции отражающих горизонтов была использована следующая методика.

1. На первом этапе прослеживались устойчивые высокоэнергетические отражения, которые маркировали на сейсмических разрезах смену характера волновой картины и могли быть ассоциированы с границами сейсмоформационного комплекса рифейского возраста.

2. Эти границы использовались для построения глубинно-скоростной модели на этапе обработки сейсмических данных. Соотнесение полученных скоростных параметров, характера волновой картины того или иного сейсмоформационного комплекса и общих геологических представлений о строении рифейского комплекса позволило стратифицировать выделенные на первом этапе основные ОГ.

3. Кроме этого, для привязки отражающих горизонтов применялась процедура одномерного

акустического моделирования по данным акустического и псевдоакустического каротажа по скважинам как в пределах Юрюзано-Айской впадины, так и за ее пределами (Леузинская-1, Восточно-Аскинская-1, Манчажская-5, Больше-Устьикинская-3, Ново-Урнякская-50, Сарапульская-1 и др.).

Допалеозойский интервал разреза на территории южной части Юрюзано-Айской впадины делится на три структурных сейсмоформационных комплекса: кристаллический фундамент архейского и раннепротерозойского возраста, терригенно-карбонатные отложения рифея и терригенные отложения вендской системы. Отсутствие достаточного числа скважин, вскрывающих додевонские отложения, а также низкая акустическая контрастность, уменьшение с глубиной энергии отраженных волн, уменьшение соотношения сигнал-помеха, невыдержанность мощностей по площади, срезание комплексов на части площадей, приводящее к потере осей синфазности — все это затрудняет проведение структурной сейсмической интерпретации и выделение ОГ, отвечающих границам этих сейсмоформационных комплексов. С сейсмической точки зрения можно выделить три явных признака, использованных при проведении интерпретации:

- резкое угловое несогласие на границе отложений рифея и венда;
- несогласие на границе венда и девона;
- наличие резкой границы потери корреляции, характерной для перехода к породам кристаллического фундамента.

Выделение ОГ V проводилось по границе смены регулярной фазовой картины на хаотичную. Трассировка ОГ V начиналась с Осинцевско-Красноуфимского выступа, где по скв. Осинцевская-1 установлена мощность отложений венда, полное отсутствие отложений рифея, резкое уменьшение глубины залегания пород фундамента. Из-за небольшой глубины четко выделяется граница перехода от осадочных пород к магматическим, далее хорошо прослеживаемая по субмеридиональным профилям 04 и 06 на юг, где она постепенно погружается.

В центре Юрюзано-Айской впадины на сейсмических профилях отмечается двучленное строение фундамента. Нижняя часть сложена архейскими высокометаморфизованными породами, среди которых преобладают гранулиты двупироксен-гнейсовой формации. В верхней части фундамента выделяется сильнодислоцированный сейсмокомплекс с иными сейсмическими характеристиками: с некоторым подобием слоистости, плохо прослеживаемыми осями синфазности, теряющимися в сильно нарушенной хаотичной записи. По данным [10], верхняя часть фундамента сложена нижнепротерозойскими менее метаморфизованными плагиосланцами или микрогнейсами с отсутствием гранитизации, реже метабазальтами и кварцитами с реликтовой псаммитовой структурой. В итоге в

центральной части территории отмечается две границы фундамента: верхняя на глубине 17–18 км, соответствующая кровле отложений раннего протерозоя, и нижняя на глубине до 27 км, соответствующая кровле архея.

Отражающий горизонт III является региональным реперным горизонтом. Калтасинская свита на территории Юрюзано-Айской впадины вскрыта скважинами Манчажская-5 (под девонскими отложениями) и Больше-Устьикинская-3 (на 278 м ниже подошвы отложений девона под кабаковской свитой). Анализ волновой картины по профилям между этими скважинами позволил проследить ось синфазности, соответствующую ОГ III.

Выделение ОГ II было осложнено тем, что по скважинным данным на большей части Юрюзано-Айской впадины отложений венда нет и породы рифея залегают непосредственно под девонскими отложениями. Увязать и проследить фазу, соответствующую ОГ II, позволило использование сейсмических ретроспективных региональных профилей Михайловский и 1-Башкирский, а также ряда профилей Суксунской площади, расположенной севернее изучаемой территории.

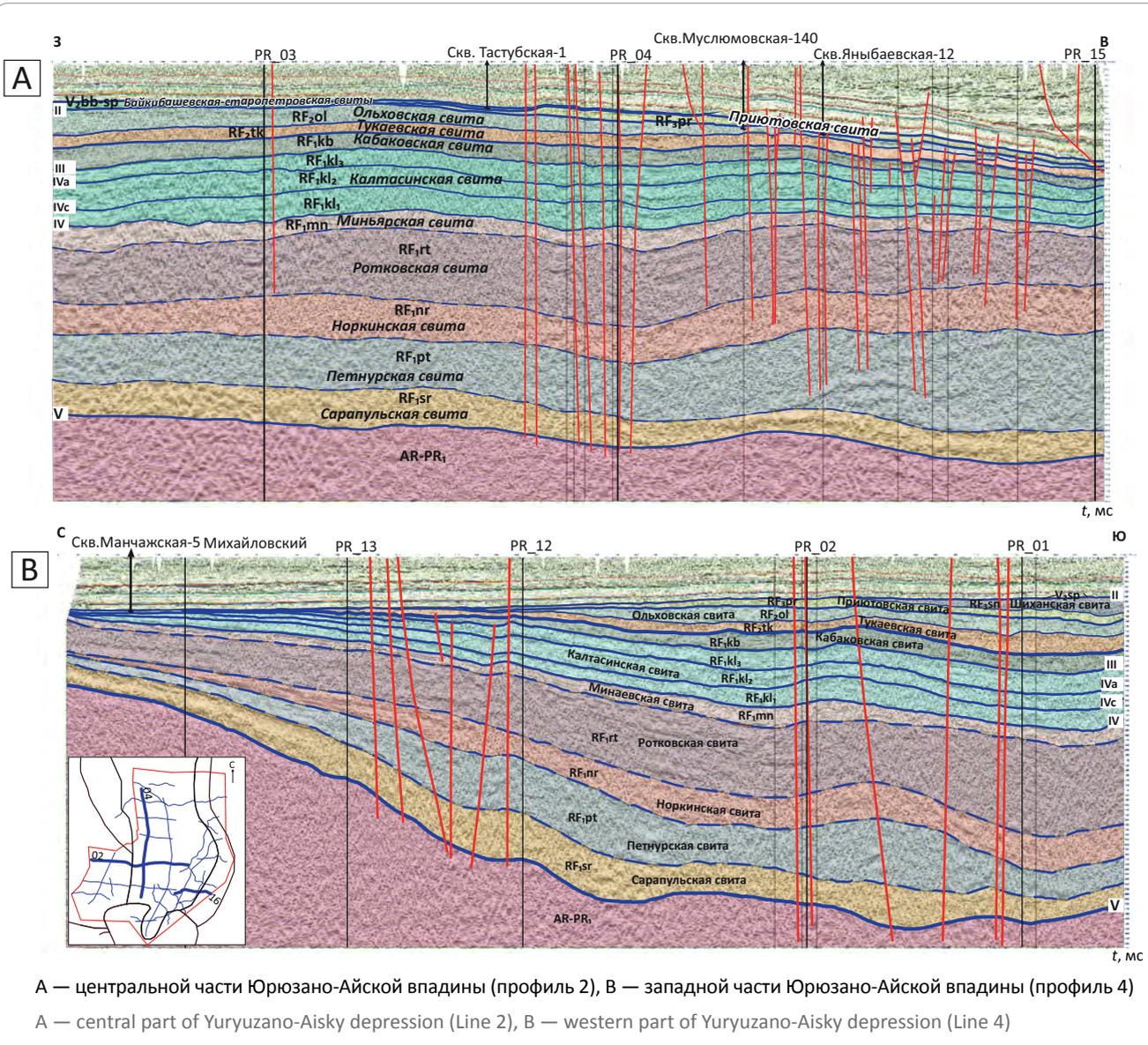
Отложения сарапульской свиты и прикамской подсерии раннего рифея на территории Юрюзано-Айской впадины не вскрыты ни одной скважиной, поэтому отождествление ОГ, соответствующих кровлям сарапульской, петнурской, норкинской и ротковской свит, опирается в основном на результаты скоростного анализа, а также на материалы визуального сопоставления волновой картины с эталонами сейсмической записи, характерной для этих свит, разработанным по западным профилям и не входящим в исследуемую территорию.

Сейсмостратиграфическая интерпретация профилей позволила уточнить строение докембрийских отложений Юрюзано-Айской впадины, которые на разных участках характеризуется различным стратиграфическим объемом. Отложения сарапульской свиты и прикамской подсерии раннего рифея присутствуют практически на всей территории Юрюзано-Айской впадины и, как правило, согласно залегают на фундаменте. Наиболее полный разрез рифейского комплекса установлен в южной и юго-восточной частях территории, где рифейские отложения выдержаны по площади и представлены нижним, средним и верхним отделами рифея. В центральной части Юрюзано-Айской впадины установлено отсутствие отложений верхнего рифея в западной части и наличие их только в объеме приютовской свиты в восточной части (рис. 4 А). В восточном направлении рифейские отложения погружаются. В южной и центральной частях Юрюзано-Айской впадины мощность отложений рифея составляет около 13–15 км, при этом мощность нижнерифейских отложений — 9–12 км, среднерифейских — от 800–1000 до 2000 м, верхнерифейских — 400–900 м. Суммарная мощность вендского комплекса в юго-западной части терри-



Рис. 4. Геолого-геофизические разрезы

Fig. 4. Geological and geophysical cross-sections



тории около 200–300 м. К востоку отложения венда выклиниваются.

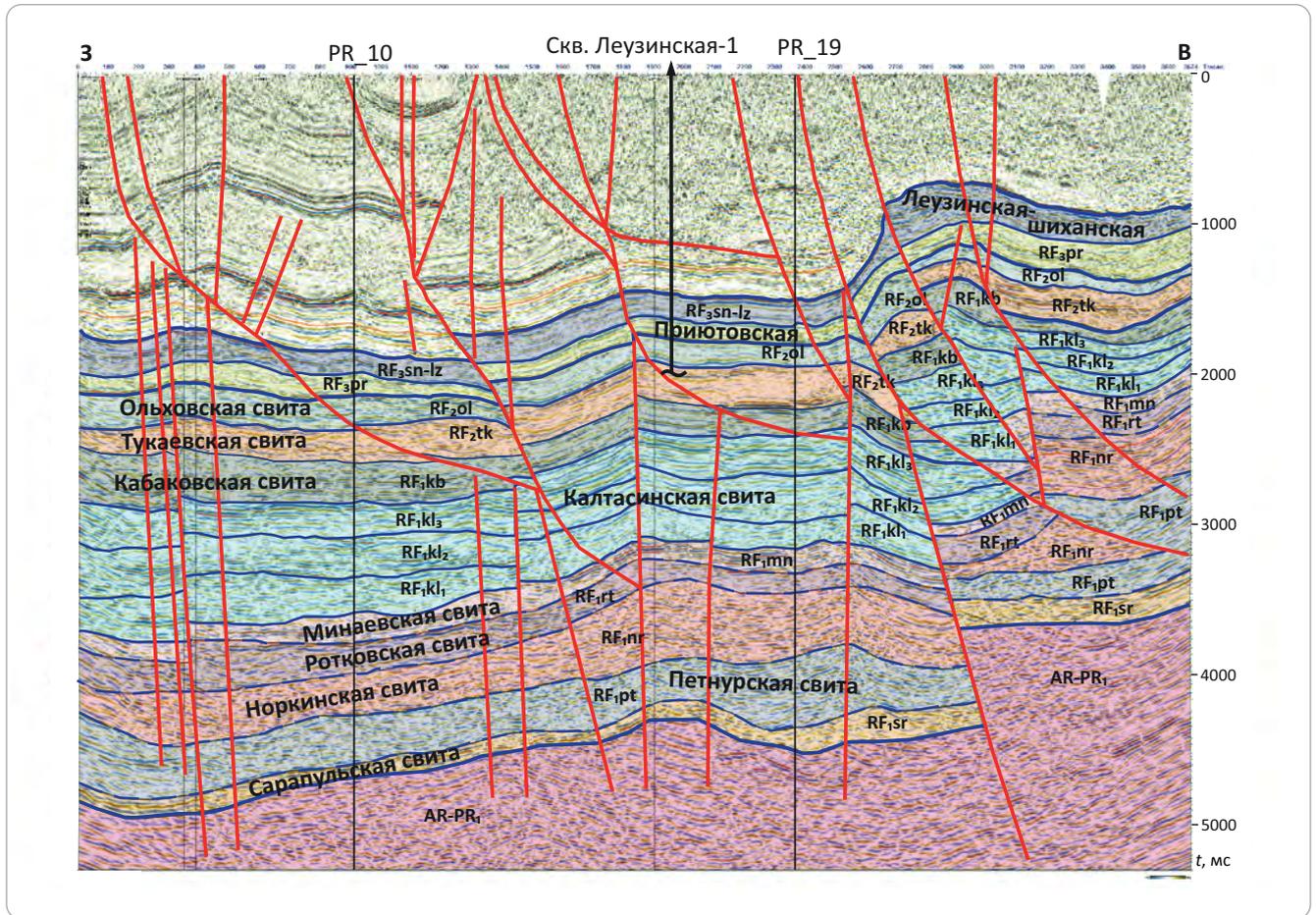
В северном направлении наблюдается подъем всех горизонтов и выклинивание средне-, верхнерифейских и вендских отложений (см. рис. 4 В). В северо-западной части в районе скв. Манчажская-5 рифейский комплекс представлен докалтасинскими и калтасинскими отложениями. Более поздние отложения рифея отсутствуют. Мощность отложений рифея на севере составляет 3–4,5 км. Калтасинская свита перекрывается вендскими отложениями мощностью 30–80 м, а восточнее выходит под отложения верхнего девона.

Разрез осадочного чехла на всей площади Юрюзано-Айской впадины осложнен многочисленными тектоническими нарушениями, преимущественно это сбросы, взбросы и надвиги. В западной (платформенной) части впадины преобладают вер-

тикальные разломы (см. рис. 4). В восточной части впадины залегание всех стратиграфических комплексов, включая фундамент, нарушено взбросо-сдвиговыми дислокациями (рис. 5). Суммарная мощность рифейского комплекса в восточной части — 6–6,2 км, при этом мощность нижнерифейских отложений — 4,3–5,4 км, среднерифейских — 700–900 м, верхнерифейских — около 800–1100 м.

Тектоническое строение в южной части Юрюзано-Айской впадины осложнено наличием Каратауского аллохтона, отделяющегося от основной территории крупным нарушением субширотного простирания. Верхнепротерозойский комплекс в Каратауском аллохтоне, вероятно, представлен в полном стратиграфическом объеме — нижним, средним, верхним рифеем и вендом, но отличается литолого-стратиграфическим строением. Отражающие горизонты прослеживались по данным ско-

Рис. 5. Геолого-геофизический разрез юго-восточной части Юрюзано-Айской впадины по сейсмическому профилю 16
 Fig. 5. Geological and geophysical section across the south-eastern part of Yuryuzano-Aisky depression along the seismic survey line 16



ростного анализа и наличии углового несогласия между подкомплексами. По сейсмическим данным, в Каратауском аллохтоне мощность нижнерифейских отложений составляет 9,5–9,7 км, среднерифейских — 1200–1400 м, верхнерифейских — 1200–1500 м, вендских — около 100–200 м.

По результатам интерпретации сейсмических профилей и материалам геологической карты (листы N-40, O-40) была построена геологическая карта Юрюзано-Айской впадины со снятым палеозойским чехлом (рис. 6). Рифейские отложения залегают как в автохтоне, так и в аллохтоне. Породы аллохтона и автохтона отличаются друг от друга по тектоническому строению, мощности, стратиграфической полноте разреза. В автохтоне в западной части на предпалеозойскую поверхность выходят отложения позднего венда, в восточной части — отложения рифея: в северной части — раннего рифея, в центральной части — среднего рифея, в юго-восточной части — позднего рифея. Таким образом, наблюдается последовательное омоложение пород докембрийского комплекса в юго-западном направлении. Отложения леузинской свиты залегают, вероятно, в аллохтоне. Верхневендские породы развиты в западной части Юрюзано-Айской впадины и отсутствуют в восточной части.

Литолого-палеогеографические условия образования рифейских и вендских отложений

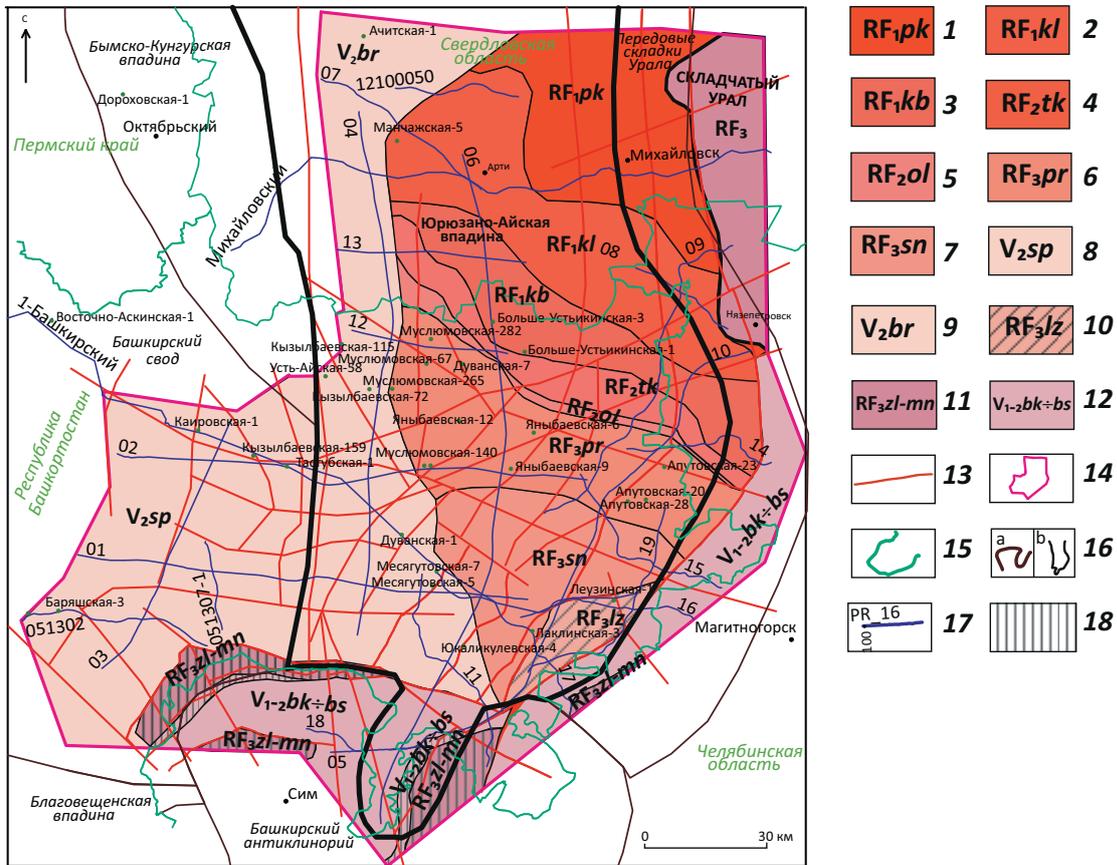
На основе сейсмостратиграфической интерпретации верхнепротерозойского разреза были построены карты толщин, в дальнейшем использованные для построения палеогеографических карт калтасинского, средне- и позднерифейского и поздневендского времени. При реконструкции палеогеографических обстановок седиментации учитывались результаты литологического, геохимического исследования керна, петрографического изучения шлифов, данные промысловой геофизики.

В пределах Камско-Бельского авлакогена седиментация в докембрии происходила на всей его площади за исключением участков выступающего фундамента (Осинцевско-Красноуфимский выступ, Пермско-Башкирский свод). При анализе сейсмического материала был установлен мощный нескрытый бурением разрез континентальных и прибрежно-морских отложений сарапульской свиты и прикамской подсерии раннего рифея.

Орьбашский цикл седиментации охватывает калтасинское, надеждинское и кабаковское время.

На рис. 7 А представлена палеогеографическая карта калтасинского времени. По сейсмическим данным в северо-восточной части Юрюзано-Ай-

Рис. 6. Геологическая карта Юрюзано-Айской впадины со снятым палеозойским чехлом
Fig. 6. Geological map of Yuryuzano-Aisky depression with Palaeozoic cover removed



Автохтон (1–9): ранний рифей (1–3): 1 — прикамская подсерия, 2 — калтасинская свита, 3 — кабаковская свита; **свиты среднего рифея (4, 5):** 4 — тукаевская, 5 — ольховская; **свиты позднего рифея (6, 7):** 6 — приютовская, 7 — шиханская; **свиты позднего венда (8, 9):** 8 — старопетровская, 9 — бородулинская серия; **аллохтон, свиты (10–12):** 10 — леузинская, 11 — зильмердакская, катавская, инзерская, миньярская, 12 — бакеевская, урюкская, басинская объединенные; 13 — тектонические нарушения; 14 — контур работ; **границы (15, 16):** 15 — административные, 16 — тектонические (a) и Юрюзано-Айской впадины (b); 17 — сейсмические профили; 18 — выходы на поверхность верхнерифейских и вендских пород

Autochthon (1–9): Early Riphean (1–3): 1 — Prikamsky subgroup; 2 — Kaltasinsky Fm, 3 — Kabakovsky Fm; **Middle Riphean formations (4, 5):** 4 — Tukaevsky, 5 — Ol'khovsky; **Later Riphean formations (6, 7):** 6 — Priyutovsky, 7 — Shikhansky; **Later Vendian formations (8, 9):** 8 — Staropetrovsky; 9 — Borodylinsky group; **allochthon, formations (10–12):** 10 — Leuzinsky, 11 — Zil'merdaksky, Katavsky, Inzersky, Min'yarsky, 12 — Bakeevsky, Uryuksky, Basinsky combined; 13 — faults; 14 — working area outline; **boundaries (15, 16):** 15 — administrative, 16 — tectonic (a) and Yuryuzano-Aisky depression (b); 17 — seismic survey lines; 18 — Upper Riphean and Vendian rock coming out to the day

ской впадины калтасинская свита отсутствует. В юго-западном направлении отмечается постепенное углубление калтасинского бассейна. Выделяется зона прибрежно-морских отложений, в которых сформировались кристаллические строматолитовые доломиты. В мелководной зоне при незначительном поступлении терригенного материала образовались доломиты с маломощными прослойками аргиллитов, песчаников и алевролитов. На юго-западе Юрюзано-Айской впадины в умеренно глубоководной зоне формировались сероцветные доломиты с прослоями глин, мергелей, с примазками черного глинистого или глинисто-углеродистого материала по плоскостям напластования, со следами пиритизации пород. В кровельной части доломитов нередко встречаются включения бурого гематита неправильной формы.

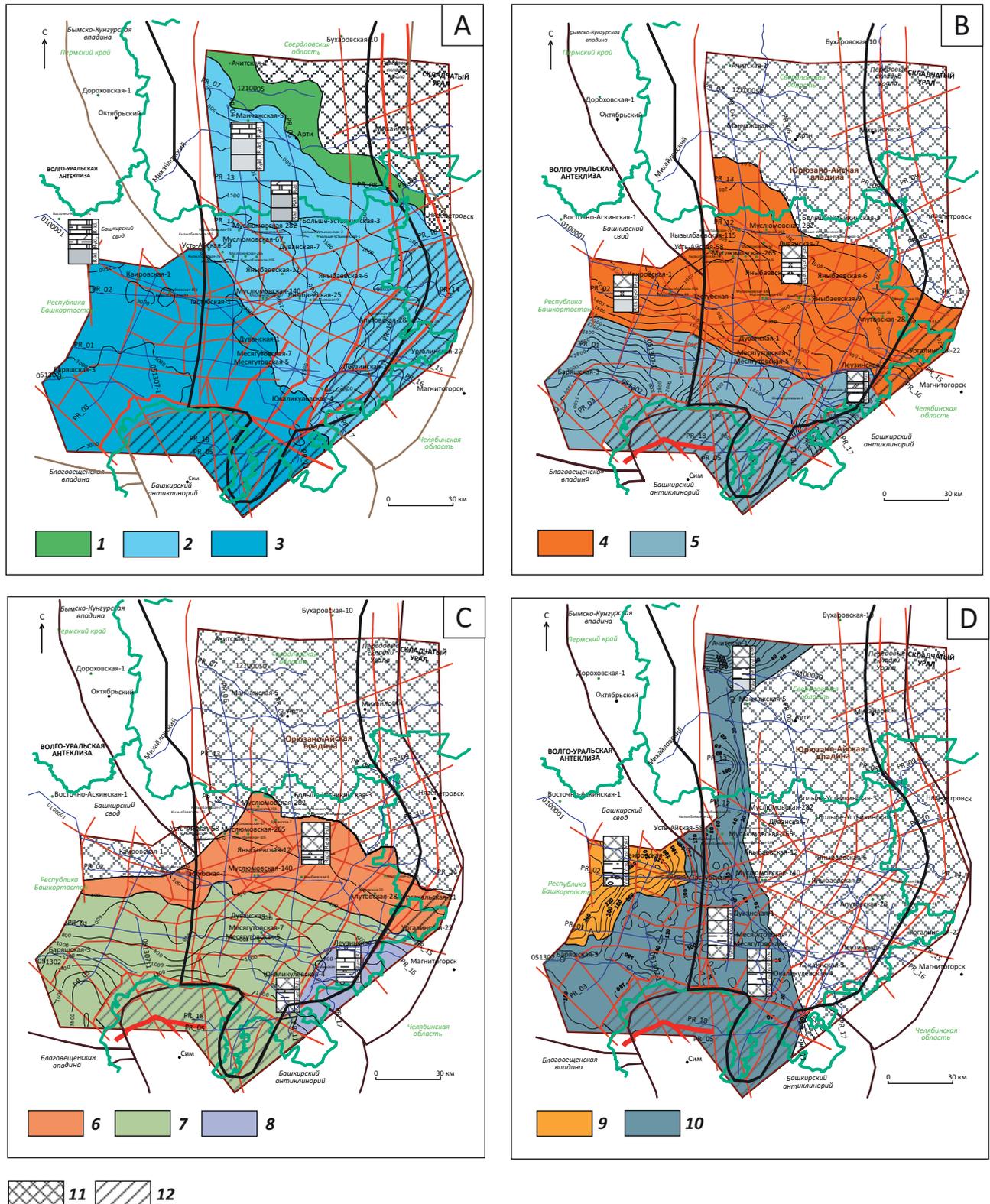
Среднерифейские палеообстановки во многом

были унаследованы от раннерифейских. На этом этапе седиментации осадки заполнили вновь сформированные в период байкальской фазы тектогенеза отрицательные структуры [11]. Отмечалась активная вулканическая деятельность, обусловившая наличие в разрезе тукаевской и ольховской свит прослоев темно-зеленых хлоритизированных пикрит-долеритов.

На рис. 7 В представлена палеогеографическая карта отложений среднего рифея. В северной части Юрюзано-Айской впадины отложения среднего рифея отсутствуют. В тукаевское время началась новая обширная трансгрессия, пришедшая с востока. Отложения тукаевской свиты хорошо выдержаны по площади и встречаются повсеместно в зоне развития среднерифейского комплекса. Окислительные геохимические условия прибрежной зоны обусловили розовую окраску песчаников. В песчаниках

Рис. 7. Литолого-палеогеографические карты Юрюзано-Айской впадины для калтасинского времени (А), среднего рифея (В), позднего рифея (С), позднего венда (D)

Fig. 7. Lithologic and paleogeographic maps of Yuryuzano-Aisky depression for Kaltasinsky time (A), Middle Riphean (B), Later Riphean (C), Later Vendian (D)



Усл. обозначения к рис. 7, окончание
Legend for Fig. 7, end.

Зоны (1–10): **1** — прибрежно-морских отложений приливо-отливных равнин (кристаллические строматолитовые доломиты с прослоями известняков), **2** — отложений мелководного шельфа (кристаллические доломиты, часто алевролитистые, с прослоями известняков, алевролитов, песчаников), **3** — умеренно глубоководных отложений открытого шельфа (кристаллические и пелитоморфные доломиты с прослоями известняков, глин, мергелей), **4** — прибрежно-морских терригенных и карбонатно-терригенных отложений (пестроцветные песчаники с подчиненными прослоями гравелитов, алевролитов и аргиллитов (в тукаевское время) и переслаивание пестроцветных аргиллитов, часто доломитовых и доломитовых мергелей (в сихонкинское время), **5** — мелководно-морских глинистых отложений в акбердинское время (темно-серые, черные аргиллиты с прослоями светло-серых алевролитов, редко песчаников), **6** — прибрежно-морских и мелководно-морских терригенных отложений в приутовское время (серые песчаники и алевролиты, пестроцветные алевролиты, аргиллиты, реже доломиты), **7** — лагунных карбонатных отложений в шиханское время (пестроокрашенные глинистые известняки, прослоями доломитизированные, с тонкой ленточной слоистостью, с подчиненными прослоями аргиллитов, мергелей, редко алевролитов), **8** — мелководно-морских карбонатных отложений в леузинское время (доломиты с прослойками углеродисто-глинистого материала), **9** — прибрежно-морских терригенных отложений в байкибашевское время (песчаники с примесью гравийно-галечного материала, с подчиненными прослоями аргиллитов), **10** — мелководно-морских терригенных отложений старопетровского (верещагинского) времени (аргиллиты с прослоями алевролитов, реже песчаников); **11** — отсутствие отложений; **12** — залегание автохтонных отложений под аллохтоном

Zones (1–10): **1** — coastal-marine deposits of tidal plains (crystalline dolomite with limestone partings), **2** — shallow-marine shelf (crystalline dolomite, often silty, with limestone, siltstone, and sandstone partings), **3** — moderately deepwater deposits of open shelf (crystalline and pelitomorphic dolomite with limestone, clay, and marl partings), **4** — coastal-marine terrigenous and terrigenous-carbonate deposits (variegated sandstone with subordinate gravelstone, siltstone, and claystone partings (in Tukaevsky time) and interbedding of variegated claystones, often dolomitic and dolomitic marl (in Sikhonkinsky time)), **5** — shallow-marine argillaceous deposits in Akberdinsky time (dark-grey, black claystone with light-grey siltstone, rarely sandstone partings), **6** — coastal-marine and shallow-marine terrigenous deposits in Priyutovsky time (grey sandstone and siltstone, variegated siltstone, claystone, rarely dolomite), **7** — lagoonal carbonate deposits in Shikhansky time (randomly coloured argillaceous limestone, dolomitized in partings, with fine seasonal bands, with subordinate claystone, marl, and rarely siltstone partings), **8** — shallow-marine carbonate deposits in Leuzinsky time (dolomite with carbonaceous-argillaceous partings), **9** — coastal-marine terrigenous deposits in Baikibashevsky time (sandstone with admixture of gravel-pebble material, with subordinate claystone partings), **10** — shallow-marine terrigenous deposits of Staropetrovsky (Vereschaginsky) time (claystone with siltstone, rarely sandstone partings); **11** — lack of deposits; **12** — autochthon deposits occurrence below allochthon

встречаются тонкие миллиметровые прослойки темно-зеленых аргиллитов, в некоторых прослоях — единичные экземпляры гальки вишнево-красных аргиллитов.

Отложения ольховской свиты образовались в прибрежно-морских условиях. Акбердинская подсвита ольховской свиты формировалась в южной части Юрюзано-Айской впадины. Здесь доминировали устойчивые восстановительные условия, при которых накопились темно-серые до черных аргиллиты с прослоями алевролитов серых, иногда с зеленоватым оттенком и редкими прослоями песчаников. Карбонатно-глинистые осадки сихонкинской подсвиты имеют более широкое распространение и сформировались в окислительных условиях в приближенных к берегу малоподвижных зонах (лагунах).

В начале позднего рифея отмечается новый цикл рифтогенеза, сопровождавшийся внедрением магмы в осадочный чехол и формированием даек габбро-диабаз. Отложения позднего рифея отсутствуют в северной части Юрюзано-Айской впадины. В ее центральной части выделяется зона прибрежно-морских и мелководно-морских отложений приутовской свиты (см. рис. 7 С), которые накопились в окислительных и слабовосстановительных условиях эпиконтинентального морского бассейна. Объем поступающего в седиментационный бассейн железа снизился, в результате чего отложения приутовской свиты имеют в основном серую окраску. Гидродинамическая активность бассейна в приутовское время была непостоянной. В условиях достаточно активной гидродинамики в базлыкское и

кожайское время сформировались преимущественно песчаные отложения, иногда с примесью мелкопсефитовых зерен. Снижение гидродинамики среды в кигинское и кармалкинское время обусловило формирование переслаивания алевролитов и аргиллитов, с подчиненными прослоями песчаников, доломитов и мергелей и тонкими темно-серыми углеродисто-глинистыми прослойками.

Южнее выделяется зона образования лагунных карбонатных отложений шиханской свиты (см. рис. 7 С). В более глубоководном по сравнению с приутовским шиханском бассейне преобладали восстановительные условия, иногда сменяющиеся нейтральными [11]. В условиях слабой гидродинамической активности накопились пестроцветные тонкослоистые часто глинистые известняки и доломиты с характерным ленточным чередованием прослоев различной окраски.

Зона накопления леузинской свиты выделяется в юго-восточной части Юрюзано-Айской впадины (см. рис. 7 С). Отложения леузинской свиты накопились в восстановительных условиях мелководного моря и представлены преимущественно доломитами, местами слабобитуминозными, с тонкими темно-серыми углеродисто-глинистыми, иногда глинистыми слоями. Возможно, леузинская свита имеет аллохтонное происхождение.

После формирования верхнерифейских отложений наступил длительный перерыв в осадконакоплении, в течение которого часть верхнерифейских отложений подверглась размыву [11, 12].

В вендский этап произошла смена геотектонического режима с авлакогенного на плитный.

Отложения венда сформировались в типично платформенных условиях. В пределах Юрюзано-Айской впадины отложения позднего венда развиты в западной и юго-западной зонах. Их накопление произошло на каировском (бородулинском) этапе седиментогенеза. В раннекаировское время — байкибашевский век — отмечалось погружение территории. Геохимический режим был неустойчивым, характерным для прибрежной зоны. В результате образовались неотсортированные глинисто-алевритовые, песчаные, гравийные и галечниковые осадки. Отложения байкибашевской свиты развиты в западной части площади работ в районе скв. Каировская-1 (см. рис. 7 D).

Старопетровский век характеризуется максимальным проявлением трансгрессии. Площадь бассейна была значительно шире современного развития старопетровских отложений [11]. К началу старопетровского века из-за пенеппенизации рельефа существенно сократился привнос грубозернистого обломочного материала. В бассейне седиментации преобладал восстановительный режим, обусловивший широкое развитие диагенетического пирита, повышенное содержание закисного железа. В мелководных условиях образовались темно- и зеленовато-серые алевриты и аргиллиты, с редкими прослоями песчаников.

Перспективы нефтегазоносности

Перспективы нефтегазоносности рифейских отложений на сегодняшний день являются дискуссионным вопросом, поскольку в них нет открытых залежей нефти и газа. Тем не менее, на разных стратиграфических уровнях в рифейских отложениях выявлены нефтегазопроявления, указывающие на возможное развитие процессов генерации и аккумуляции УВ.

Так, в скв. Леузинская-1 в среднем рифее в песчаниках тукаевской свиты, аргиллитах акбердинской подсвиты и нижней части сихонкинской подсвиты ольховской свиты наблюдаются повышенные показания газового каротажа, свидетельствующие о существовании на больших глубинах источников УВ. При испытании в открытом стволе в интервале 5064–5181 м из песчаников тукаевской свиты был получен глинистый раствор с УВ-газом дебитом от 2,2 до 10,8 м³/сут. При испытании кигинской и кожайской подсвит приутовской свиты позднего рифея в скв. Апутовская-28 в интервале 3456–3582 м был получен приток глинистого раствора дебитом 0,14 м³ и пластовой воды с растворенным УВ-газом дебитом 0,33 м³.

В скв. Восточно-Аскинская-1 (на Башкирском своде) в ашитской подсвите калтасинской свиты выявлен интервал с аномально высокими газовыми показателями. При испытании был получен приток газированной пластовой воды дебитом 34,9 м³/сут, содержащей УВ-газы (преимущественно метан).

В Пермском крае в терригенных породах рифея установлено нефтенасыщение по керну в виде

выпотов черной вязкой нефти на Очерской, Сивинской, Соколовской, Таныпской и других площадях.

Таким образом, рифейские отложения можно рассматривать в качестве потенциального нефтегазоносного комплекса с малой степенью изученности.

Открытие в конце XX в. залежей тяжелой высоковязкой нефти в отложениях венда на Шарканском и Тыловайском месторождениях (Республика Удмуртия) и включение их в Государственный баланс обусловило выделение вендского перспективного комплекса. В породах венда нефтепроявления были установлены на территории Верхнекамской впадины и Башкирского свода, большей частью они отмечаются в байкибашевской свите и ее разновозрастном аналоге — кыквинской свите. В керне наблюдаются выпоты, примазки и пропитка густой черной нефтью, иногда битумом. В Удмуртии (в скважинах Сивинская-1, Соколовская-52, Дебеская-603) из вендского комплекса были получены притоки тяжелой, вязкой, малосернистой, малопарафинистой нефти с высоким содержанием смолисто-асфальтеновых веществ и низким содержанием бензиновых фракций. Наличие нефтенасыщенных песчаников в вендском комплексе также было установлено в скважинах на Бородулинской, Верещагинской, Куединской, Таныпской, Ишимской и других площадях Пермского края. В скв. Усть-Айская-62, расположенной вблизи западной границы Юрюзано-Айской впадины, в отложениях венда в интервале 2300,1–2313 м отмечаются повышенные газовые показания по каротажу. Непосредственно в пределах Юрюзано-Айской впадины признаки нефтегазоносности в вендском комплексе не отмечены. Тем не менее, выводы о бесперспективности вендских отложений на этой территории преждевременны вследствие их слабой изученности.

Нефтегазоматеринские породы выявлены на разных стратиграфических уровнях от раннего рифея до венда. Источником УВ в породах рифея служили древнейшие водоросли. Диагностическим признаком нефтегазоматеринских пород является повышенное содержание $C_{орг}$. Пиролитическими исследованиями в скв. Восточно-Аскинская-1 в нижнерифейских отложениях были установлены высокие значения $C_{орг}$ в мергелях кубязинской подсвиты кабаковской свиты (0,51–0,72 %), в аргиллитах и мергелях арланской и ашитской подсвит калтасинской свиты (0,53–1,52 %). Вендские отложения характеризуются низкими значениями $C_{орг}$, не превышающими 0,1 %. В скв. Леузинская-1 повышенные значения $C_{орг}$ выявлены в аргиллитах акбердинской подсвиты ольховской свиты среднего рифея (0,58 %), мергелях и глинистых известняках шиханской свиты позднего рифея (0,30–0,85 %). Породы характеризуются низкими значениями параметров S_1 и S_2 (менее 1 мг/г породы), что, вероятно, обусловлено выработанностью нефтегазоматеринского потенциала. По нефтегазогенерационному потенциалу породы рифея относятся к бедному классу (по классификации В. Tisso, D. Velte, 1981;

К.Е. Peters, 1986). По мнению Т.В. Ивановой с соавторами, невысокие значения геохимических показателей при больших мощностях нефтегазоматеринских пород позволяют предположить, что масса генерируемых УВ составляет миллионы тонн [13]. Содержание битумоидов в рифейских породах в скв. Леузинская-1 составляет 0,0001–0,0006 %, в то время как в скв. Восточно-Аскинская-1 достигает сотых долей процента. Низкое содержание битумоидов в скв. Леузинская-1 связано, вероятно, с ее расположением в зоне разломов. Максимальные значения содержания битумоидов отмечаются в мергелях кубязинской подсвиты кабаковской свиты раннего рифея (до 0,0164 %) и аргиллитах ольховской свиты (до 0,0135 %). Температура максимального выхода УВ для рифейских пород — 433–606 °С, вендских — 418 °С. Степень преобразованности ОВ в рифее оценивается в грациях катагенеза от МК₁ до МК₅, в венде — ПК₂₋₃–МК₁.

Степень изученности ОВ пород докембрия недостаточна для полной и объективной оценки их нефтегазопроизводящих возможностей.

Фациальные условия и циклический характер осадконакопления рифей-вендских отложений благоприятны для формирования в них пород-коллекторов и покрышек.

В разрезе рифей-вендского комплекса выделяется несколько уровней песчаниковых толщ, которые могут быть коллекторами. В раннем рифее — это песчаники норкинской и ротковской свит, в среднем рифее — тукаевской свиты, в позднем рифее — базлыкской и кожайской подсвит приютовской свиты, в венде — песчаники байкибашевской свиты. Изучение коллекторских свойств пород в скв. Леузинская-1 показало, что они являются непроницаемыми или слабопроницаемыми и обладают низкой емкостью (от долей процента до 3,2–3,5 % — в песчаниках приютовской и тукаевской свит). Повышение проницаемости пород связано с зонами трещиноватости. Также предполагается наличие коллекторов в карбонатных породах калтасинской свиты, в разрезе которой присутствуют обломочные, органогенно-обломочные, биогермные разности доломитов, которые могут выступать в роли как первичных, так и вторичных кавернозно-поровых коллекторов.

Покрышками для пород тукаевской свиты служат глинисто-карбонатные отложения ольховской свиты, для пород базлыкской и кожайской подсвит приютовской свиты — глинистые отложения кигинской и кармалкинской подсвит приютовской свиты, для байкибашевской свиты — глинистые отложения старопетровской свиты.

Выводы

При обобщении результатов бурения, сейсмо-разведки, геологического картирования установлены различные объемы и неравномерное распределение рифей-вендских отложений по площади современной Юрюзано-Айской впадины. Наличие

нижнерифейских отложений выявлено на всей территории Юрюзано-Айской впадины. Средне- и верхнерифейские отложения отсутствуют в северной части. Вендский разрез представлен только в объеме позднего венда с максимальными мощностями на юго-западе. В восточном направлении вендские отложения выклиниваются.

Рифей-вендский структурный этаж в западной части Юрюзано-Айской впадины характеризуется сложным блоковым строением; в восточной части осложнен позднепалеозойским тектогенезом, в результате которого сформировались складчатые структуры взбросово-надвигового типа с поднятым восточным и опущенным западным крылом. Формирование разрывных нарушений способствовало образованию зон повышенной трещиноватости по всей толще комплекса.

Осадкообразование карбонатно-терригенных рифейских отложений происходило в различных обстановках: в континентальных, прибрежно-морских, мелководно-морских. Оно приурочено к трем этапам рифтогенеза — ранне-, средне- и поздне-рифейскому. Начало каждого этапа фиксируется по появлению красноцветных грубообломочных континентальных формаций ранней стадии рифтогенеза, сохранившихся в разрезе наиболее полно. На зрелых стадиях формировались сероцветные и пестроцветные песчано-глинистые, глинисто-карбонатные и карбонатные прибрежно- и мелководно-морские формации. Авандельтовые формации поздних стадий рифтогенеза сохранились только в раннем рифее. Образование терригенных толщ венда приурочено к эпиплатформенному бассейну.

Сформированные породы рифей-вендского комплекса весьма плотные и обладают низкой емкостью за счет утраты первичной пористости, в результате чего в них практически отсутствуют коллекторы порового типа и преобладают коллекторы трещинного типа.

Пиролитические исследования в скв. Леузинская-1 показали, что породы характеризуются низким $C_{орг}$ и относятся к бедному классу нефтегазоматеринских пород с высоким уровнем преобразования керогена. Однако расположение скв. Леузинская-1 в зоне тектонических нарушений делает эти выводы неоднозначными. Недостаток фактического материала, отсутствие ядра из автохтона, слабая геохимическая изученность, сложные тектонические перестройки оставляют вопрос о перспективах отложений рифея нерешенным и требуют дальнейшего изучения.

Вендские отложения относятся к перспективному малоизученному комплексу.

Литература

1. *Соборнов К.О.* Строение Южного Урала и Предуралья на основе интерпретации региональных сейсмических данных и происхождение богатейших залежей нефти в Волго-Уральском бассейне // *Геология нефти и газа*. – 2023. – № 1. – С. 7–25. DOI: 10.31087/0016-7894-2023-1-7-25.
2. *Стратиграфическая* схема рифейских и вендских отложений Волго-Уральской области. Объяснительная записка. – Уфа : МСК России, 2000. – 81 с.
3. *Сергеева Н.Д., Пучков В.Н., Ратов А.А., Козлова О.В.* Стратиграфическая корреляция отложений рифея Волго-Уральской области и Южного Урала и их пространственное взаимоотношение в зоне сопряжения платформенных и складчатых структур по сейсмическим материалам // *Геологический вестник*. – 2018. – № 2. – С. 79–95. DOI: 10.31084/2619-0087/2018-2-6.
4. *Чибрикова Е.В., Морозов С.Г., Чагаев А.Я.* Нижнедевонские – силурийские образования на востоке Русской платформы // *Доклады АН СССР*. – 1967. – Том 172. – № 1. – С. 174–177.
5. *Масагутов Р.Х., Иванов Д.И., Дьяконова О.Б.* Литологическая и промыслово-геофизическая характеристика приуртовской свиты верхнего рифея Юрюзано-Сылвенской депрессии // *Проблемы геологии, геофизики, бурения и добычи нефти : сб. науч. тр.* – Уфа, 2004. – С. 25–32.
6. *Ишерская М.В., Романов В.А.* О верхнем рифее Предуральского прогиба // *Геологический сборник*. – 2006 – № 5. – С. 45–49.
7. *Козлов В.И., Иванова Т.В., Горохов И.М., Масагутов Р.Х. и др.* Литолого-петрографическая характеристика и перспективы нефтегазоносности доверхнедевонских отложений, вскрытых скважиной-1 Леузинская (северо-восток платформенного Башкортостана). – Уфа : УНЦ РАН, «ИК БашНИПИнефть», ИГГД РАН. – 2003. – 40 с.
8. *Ravnås R., Steel R.J.* Architecture of marine rift-basin successions // *AAAPG Bulletin*. – 1998. –Т. 82. – № 8. – С. 141–146. DOI: 10.1306/1D9BC3A9-172D-11D7-8645000102C1865D.
9. *Стратотип* рифея. Стратиграфия. Геохронология // *Труды ГИН АН СССР*, Т. 377. – М. : Наука, 1983. – 184 с.
11. *Масагутов Р.Х.* Литолого-стратиграфическая характеристика и палеогеография позднего докембрия Башкирского Приуралья. – М. : Недра, 2002. – 224 с.
12. *Лобусев А.В.* Эволюция и перспективы нефтегазоносности позднепротерозойских рифтовых систем европейской части России // *Геология нефти и газа*. – 2005. – № 4. – С. 9–15.
13. *Иванова Т.В., Егорова Н.П., Масагутов Р.Х., Ларичев А.И.* Геохимическая характеристика нефтегазопроизводящих толщ рифей-вендских отложений платформенного Башкортостана // *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*. – 2002. – № 2. – С. 31–35.

References

1. *Sobornov K.O.* Structure of the South Urals and cis-Uralian foredeep as revealed by interpretation of regional seismic data and the origin of the prolific of oil reserves in the Volga Urals Basin. *Geologiya nefi i gaza*. 2023;(1):7–25. DOI: 10.31087/0016-7894-2023-1-7-25. In Russ.
2. *Stratigraficheskaya skhema rifeiskikh i vendskikh otlozhenii Volgo-Ural'skoi oblasti. Ob'yasnitel'naya zapiska* [Stratigraphic scheme of Riphean and Vendian deposits of the Volga-Ural region. Explanatory note]. Ufa: MSK Rossii; 2000. 81 p. In Russ.
3. *Sergeeva N.D., Puchkov V.N., Ratov A.A., Kozlova O.V.* Correlation of deposits of the riphean of the Volgo-Uralian area and the Southern Urals and their relationships in the zone of conjunction of the platform and foldbelt structures after seismic data. *Geologicheskii vestnik*. 2018;(2):79–95. DOI: 10.31084/2619-0087/2018-2-6. In Russ.
4. *Chibrikova E.V., Morozov S.G., Chagaev A.Ya.* Nizhnedevonskie — siluriiskie obrazovaniya na vostoке Russkoi platformy [Lower Devonian – Silurian formations in the east of the Russian Platform]. *Doklady AN SSSR*. 1967;172(1):174–177. In Russ.
5. *Masagutov R.Kh., Ivanov D.I., D'yakonova O.B.* Litologicheskaya i promyslovo-geofizicheskaya kharakteristika priyutovskoi svity verkhnego rifeya Yuryuzano-Sylvenskoi depressii [Lithological and field geophysical characteristics of Upper Riphean Priyutovsky Formation in Yuryuzano-Sylvensky Depression]. In: *Problemy geologii, geofiziki, bureniya i dobychi nefi : sb. nauch. tr.* Ufa; 2004. pp. 25–32. In Russ.
6. *Isherskaya M.V., Romanov V.A.* O verkhnem rifee Predural'skogo progiba [On the Upper Riphean of the Pre-Ural Trough]. *Geologicheskii sbornik*. 2006;(5):45–49. In Russ.
7. *Kozlov V.I., Ivanova T.V., Gorokhov I.M., Masagutov R.Kh. et al.* Litologo-petrograficheskaya kharakteristika i perspektivy neftegazo-nosnosti doverkhnedevonskikh otlozhenii, vskrytykh skvazhinoi-1 Leuzinskaya (severo-vostok platformennogo Bashkortostana) [Lithologic and petrographic characteristics and petroleum potential of Upper Devonian deposits encountered by Leuzinsky-1 well (north-eastern part of platform Bashkortostan)]. Ufa: UNTs RAN, “IK BashNIPIneft”, IGGD RAN. 2003. 40 p. In Russ.
8. *Ravnås R., Steel R.J.* Architecture of marine rift-basin successions. *AAAPG Bulletin*. 1998;82(8):141–146. DOI: 10.1306/1D9BC3A9-172D-11D7-8645000102C1865D.
9. *Стратотип* рифея. Стратиграфия. Геохронология // *Труды ГИН АН СССР*, Т. 377. – М. : Наука, 1983. – 184 с.
10. *Geology and mineral resources of Russia: 6 volumes. Vol. 1. West of Russia and Ural. Book 1. West of Russia.* In: I.S. Gramberg, V.L. Ivanov, Yu.E. Pogrebitskiy eds. St. Petersburg: Izdatelstvo VSEGEI; 2004. 468 p. In Russ.
11. *Masagutov R.Kh.* Litologo-stratigraficheskaya kharakteristika i paleogeografiya pozdnego dokembriya Bashkirkogo Priural'ya [Lithological and stratigraphic characteristics and paleogeography of the Late Precambrian of the Bashkir Urals]. Moscow: Nedra; 2002. 224 p. In Russ.
12. *Lobusev A.V.* Evolution and oil and gas potential prospects of late proterozoic rift structures of the European part of Russia. *Geologiya nefi i gaza*. 2005;(4):9–15. In Russ.
13. *Ivanova T.V., Egorova N.P., Masagutov R.Kh., Larichev A.I.* Geokhimicheskaya kharakteristika neftegazoproizvodyashchikh tolshch rifeisko-vendskikh otlozhenii platformennogo Bashkortostana [Geochemical characteristics of oil and gas producing strata of Riphean-Vendian deposits of platform Bashkortostan]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdenii*. 2002;(2):31–35. In Russ.

Информация об авторах**Фортунова Наталья Константиновна**

Доктор геолого-минералогических наук,
заместитель генерального директора
ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский
геологический нефтяной институт»,
105118 Москва, ш. Энтузиастов, 36
e-mail: fortunatova@vnigni.ru
SCOPUS ID: 16068336000

Харченко Светлана Ивановна

Научный сотрудник
ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский
геологический нефтяной институт»,
105118 Москва, ш. Энтузиастов, 36
e-mail: kharchenko@vnigni.ru

Белюсов Григорий Александрович

Кандидат технических наук,
заведующий сектором
ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский
геологический нефтяной институт»,
105118 Москва, ш. Энтузиастов, 36
e-mail: belousov@vnigni.ru

Швец-Тэнэта-Гурий Александр Георгиевич

Кандидат геолого-минералогических наук,
главный научный сотрудник
ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский
геологический нефтяной институт»,
105118 Москва, ш. Энтузиастов, 36

Городков Алексей Борисович

Кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник
ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский
геологический нефтяной институт»,
105118 Москва, ш. Энтузиастов, 36
e-mail: agorodkov@mail.ru

Сотникова Диана Юрьевна

Геофизик
ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский
геологический нефтяной институт»,
105118 Москва, ш. Энтузиастов, 36
e-mail: sotnikova.diana@vnigni.ru

Information about authors**Natalya K. Fortunatova**

Doctor of Geological and Mineralogical Sciences,
Deputy Director General
All-Russian Research
Geological Oil Institute,
36, Shosse Entuziastov, Moscow, 105118, Russia
e-mail: fortunatova@vnigni.ru
ORCID ID: 0000-0001-7948-4842

Svetlana I. Kharchenko

Researcher
All-Russian Research
Geological Oil Institute,
36, Shosse Entuziastov, Moscow, 105118, Russia
e-mail: kharchenko@vnigni.ru

Grigorii A. Belousov

Candidate of Technical Sciences,
Head of Sector
All-Russian Research
Geological Oil Institute,
36, Shosse Entuziastov, Moscow, 105118, Russia
e-mail: belousov@vnigni.ru

Aleksandr G. Shvets-Teneta-Gurii

Candidate of Geological and Mineralogical Sciences,
Senior Researcher
All-Russian Research
Geological Oil Institute,
36, Shosse Entuziastov, Moscow, 105118, Russia

Aleksei B. Gorodkov

Candidate of Technical Sciences,
Leading Researcher
All-Russian Research
Geological Oil Institute,
36, Shosse Entuziastov, Moscow, 105118, Russia
e-mail: agorodkov@mail.ru

Diana Yu. Sotnikova

Geophysicist
All-Russian Research
Geological Oil Institute,
36, Shosse Entuziastov, Moscow, 105118, Russia
e-mail: sotnikova.diana@vnigni.ru