

УДК 551.734 (551.83;552.513)
DOI: 10.18799/24131830/2025/2/4644
Шифр специальности ВАК: 1.6.4; 1.6.1

Состав и строение терригенных отложений живетского яруса среднего отдела девонской системы по результатам изучения разреза в зоне передовых надвигов Урала (Гремячинский район Пермского края)

И.В. Афонин^{1✉}, А.В. Плюснин², Е.М. Томилина³, Е.С. Рабцевич¹,
И.С. Иванов⁴, И.В. Мякшин⁴, А.И. Сулима³

¹ Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия, г. Томск

² Альметьевский Государственный Технологический университет «Высшая школа нефти»,
Россия, г. Альметьевск

³ Пермский Государственный национальный исследовательский университет им. А.М. Горького,
Россия, г. Пермь

⁴ Филиал ООО «Лукойл-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в г. Перми, Россия, г. Пермь

✉heaven05@list.ru

Аннотация. Актуальность. Определяется промышленной нефтегазоносностью девонских терригенных отложений Урала и необходимостью уточнения существующих моделей их формирования для прогноза потенциальных нефтегазовых залежей. **Цель.** Реконструкция условий осадконакопления и определение состава источника сноса терригенных пород живетского яруса по результатам изучения кернового материала скважины Широковская 2. **Объект.** Терригенные породы нерасчленённой толщи воробьевско-ардатовского и пашийского горизонтов живетского яруса среднего отдела девонской системы, вскрытые скважиной Широковская 2. **Методы.** Литолого-фациальный анализ, петрографический анализ, рентгенофлуоресцентный анализ, масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой. **Результаты и выводы.** Проведены литолого-фациальные, минералогические, петрографические, литогеохимические исследования терригенных отложений воробьевско-ардатовского и пашийского горизонтов среднего девона Берестянского поднятия в районе сочленения Косьвинско-Чусовской седловины Предуральского краевого прогиба и передовых надвигов Западно-Уральской зоны складчатости. Установлено, что формирование исследуемых пород в живетское время происходило в переходных субаквальных обстановках дельтовой равнины. Комплексный анализ показал, что отложения воробьевско-ардатовского возраста являются осадками первого цикла седиментации, а отложения пашийского возраста представляют собой литогенно-петрогенные породы. Состав петрофонда преимущественно отвечает магматическим породам кислого и основного состава и метаморфическим породам. Помимо этого предполагается, что при формировании пород пашийского горизонта в процесс осадконакопления также были вовлечены девонские породы более раннего возраста. Совокупность полученных и опубликованных данных позволяет сделать вывод, что процесс седиментации в живетское время осуществлялся в пассивной континентальной окраине, а поступление обломочного материала происходило с приподнятых выступов фундамента и ранее образованных пород девона.

Ключевые слова: воробьевско-ардатовский и пашийский горизонты, живетский ярус, минералогия, петрография, геохимия, условия формирования, состав источника сноса, геодинамика

Благодарности: Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (проект № 0721-2020-0041).

Для цитирования: Состав и строение терригенных отложений живетского яруса среднего отдела девонской системы по результатам изучения разреза в зоне передовых надвигов Урала (Гремячинский район Пермского края) / И.В. Афонин, А.В. Плюснин, Е.М. Михайлова, Е.С. Рабцевич, И.С. Иванов, И.В. Мякшин, А.И. Сулима // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2025. – Т. 336. – № 2. – С. 126–140. DOI: 10.18799/24131830/2025/2/4644

UDC 551.734 (551.83;552.513)
DOI: 10.18799/24131830/2025/2/4644

Composition and structure of terrigenous deposits of the Givetian stage of the middle division of the Devonian system based on the results of studying the section in the zone of frontal thrust of the Urals (Gremyachinsky district of Perm Krai)

I.V. Afonin¹✉, A.V. Plyusnin², E.M. Tomilina³, E.S. Rabtsevich¹,
I.S. Ivanov⁴, I.V. Myakshin⁴, A.I. Sulima³

¹ National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation

² Almet'yevsk State Technological University "Higher School of Oil", Almet'yevsk, Russian Federation

³ National Research Perm State University, Perm, Russian Federation

⁴ Branch of LLC "Lukoil-Engineering" "PermNIPIneft" in Perm, Perm, Russian Federation

✉heaven05@list.ru

Abstract. Relevance. Industrial oil and gas potential of the Devonian terrigenous deposits of the Urals and the need to refine existing models of their formation to predict potential oil and gas deposits. **Aim.** To reconstruct sedimentation conditions and determine the composition of source area of the Givetian stage terrigenous rocks based on results of studying the core material of the Shirokovskaya 2 well. **Object.** Terrigenous rocks of the undifferentiated strata of the Vorobyov-Ardatov and Pashysky horizons of the Givetian stage of the Devonian system, penetrated by the Shirokovskaya 2 well. **Methods.** Lithological-facial, petrographic, X-ray fluorescence analysis, inductively coupled plasma mass spectrometry. **Results and conclusions.** Lithological-facies, mineralogical, petrographic, lithogeochemical studies were carried out on terrigenous deposits of the Vorobyov-Ardatov and Pashysky horizons of the Middle Devonian of the Berestyansky uplift in the area of junction of the Kosva-Chusovskaya saddle of the Pre-Ural foredeep and forward thrusts of the West Ural fold zone. It was established that the formation of the studied rocks occurred in the transitional subaquatic environments of the delta plain. A comprehensive analysis showed that the sediments of the Vorobyov-Ardatov age are sediments of the first cycle of sedimentation. The deposits of Pashysky age are lithogenic-petrogenic rocks. The composition of the petrofund mainly corresponds to igneous rocks of acidic and basic composition and metamorphic rocks. In addition, it is assumed that during the formation of rocks of the Pashysky horizon, Devonian rocks of an earlier age were also involved in sedimentation. Sedimentation during the Givetian stage took place on the passive continental margin. The supply of clastic material occurred from elevated projections of the basement and due to the erosion of Devonian deposits.

Keywords: Vorobyevsky-Ardatov and Pashysky horizons, Givetian stage, mineralogy, petrography, geochemistry, conditions of forming, composition of the source area, geodynamics

Acknowledgements: The research was carried out with the financial support of the Russian Ministry of Science and Higher Education, grant no. 0721-2020-0041

For citation: Afonin I.V., Plyusnin A.V., Tomilina E.M., Rabtsevich E.S., Ivanov I.S., Myakshin I.V., Sulima A.I. Composition and structure of terrigenous deposits of the Givetian stage of the middle division of the Devonian system based on the results of studying the section in the zone of frontal thrust of the Urals (Gremyachinsky district of Perm Krai). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2025, vol. 336. no. 2, pp. 126–140. DOI: 10.18799/24131830/2025/2/4644

Введение

Литолого-фациальные, петрографические и литогеохимические исследования терригенных пород позволяют восстановить этапы формирования и проследить эволюцию осадочных бассейнов. Объектами комплексного исследования стали терригенные отложения живетского яруса среднего отдела девонской системы Пермского края, изученные в разрезе скважины Широковская 2.

Всесторонние исследования среднедевонских терригенных толщ Волго-Уральской антеклизы

представляют особый интерес в связи с их нефтегазоносностью. Вещественные характеристики этого стратиграфического интервала имеют особую значимость. Результаты исследований терригенных пород, проведенные с привлечением как классических, так и современных прецизионных методик, позволят получить новые данные о них, а также позволят реконструировать геодинамические условия формирования этих отложений, что в дальнейшем может быть использовано как при прогнозировании залежей углеводородного сырья и проведении гео-

логоразведочных работ, так и при воссоздании широких палеогеографических реконструкций.

Целью исследования явилось комплексное изучение терригенных отложений живетского яруса для уточнения условий формирования и установления составов пород источника сноса с последующей реконструкцией геодинамических обстановок, контролировавших процесс накопления живетских терригенных толщ.

Краткие сведения о геологическом строении

Согласно унифицированной стратиграфической схеме Восточно-Европейской платформы [1], живетский ярус соответствует старооскольскому надгоризонту и объединяет воробьевский, ардатовский и муллинский горизонты. В Межрегиональной стратиграфической схеме девонских отложений территории России [2] граница среднего и верхнего девона проведена в основании конодонтовой зоны *Mesotaxis falsovalis*. При этом ее положение относительно региональных подразделений точно не определено. Авторами данной статьи в состав живетского яруса включен пашийский горизонт.

Нижняя граница яруса литологически отчетлива и представлена переходом от карбонатных пород эйфельского яруса нижнего отдела девонской системы на перекрывающие их терригенные породы живетского яруса среднего отдела девонской системы. На каротажных диаграммах она совпадает с кровлей эйфельского электрорепера и характеризуется зоной высокого кажущегося сопротивления и положительной аномалией кривой потенциала самопроизвольной поляризации [3]. Стратиграфическое обоснование живетского яруса подтверждено спорово-пыльцевыми комплексами палинозоны *Archaeozonotrites extensus*, которая включает три подзоны с комплексами спор, характерными для воробьевского, ардатовского и муллинского горизонтов [4]. Эти стратиграфические маркеры выделены в разрезах многих скважин на территории Пермского края.

Воробьевский горизонт (толща) выделен А.И. Ляшенко [5] в разрезе скв. 86 (инт. 147–167 м), пробуренной у с. Воробьевка Воронежская области, на восточном склоне Воронежской антеклизы. Подробная палеонтологическая характеристика (брахиоподы, тентакулиты, споры) приведена в монографиях [6, 7].

Горизонт распространен в центральной части Пермского края. Он представлен гравелитами с железистыми оолитами в основании, вверх по разрезу отложения грубообломочной базальной пачки сменяются алевро-песчаными породами, а затем переслаиванием алевролитов с аргиллитами. На западе территории Пермского края разрез горизонта более песчаный. Грубообломочные разности приурочены к зоне выклинивания отложений. Для

них характерна плохая сортировка материала, наличие каолинита, растительных остатков и другие признаки, свидетельствующие о существовании коры выветривания латеритного типа. Мощность терригенных отложений изменяется от первых метров до 12 м [8].

Ардатовский горизонт (слои, свита) выделен М.Ф. Микрюковым и К.Р. Тимергазиным [9] в Западной Башкирии (скв. 1 Ардатовская, инт. 1700–1721 м). Другие исследователи [6] выделяли этот интервал как старооскольский горизонт.

Границы распространения отложений ардатовского горизонта несколько шире, чем воробьевского. Контакт с нижележащими разновозрастными породами скользящий. Литологический состав пород по большей части сходен с воробьевскими, но отличается отсутствием в разрезе значительного количества гидроокислов железа. Основной зоной скопления песчаных толщ являются западные районы территории, где они практически полностью слагают разрез горизонта. В восточном направлении мощность и выдержанность песчаников снижается. Единая песчаная толща разделяется на 2 пласта и в некоторых разрезах восточных площадей замещается глинисто-алевролитовыми породами. Для отложений древних прибрежных зон характерно наличие грубозернистого материала в основании горизонта, каолинитового цемента, растительного детрита, железистых оолитов. Воробьевский горизонт прослеживается не во всех разрезах и часто бывает неотделим от вышележащего ардатовского горизонта (воробьевско-ардатовский интервал). Мощность изменяется от первых метров до 20 м.

Муллинский горизонт (слои) выделен по разрезам скважин 100, 158 и 396 Туймазинского нефтяного месторождения у с. Муллино (Башкирия) коллективом авторов [10]. А.И. Ляшенко [5] выделял эти отложения как розаевский горизонт.

Границы бассейна осадконакопления муллинского времени картируются несколько уже, чем ардатовского. Литологический состав представлен переслаиванием песчаников, алевролитов, аргиллитов, нередко с оолитами, гнездами и прослоями шамозит-гидрогетит-лептохлорит-сидеритовых руд. Характерной особенностью является значительное распространение глинистых осадков, особенно в позднемуллинское время. Основная зона накопления песчаного материала по-прежнему сохраняется на западе, где мощность песчаников в разрезах достигает 14–18 м. Значительные по толщине песчаные пласты зафиксированы в центральных районах и на севере (около г. Соликамска). Характерной особенностью муллинского разреза является наличие в его основании выдержанного песчаного пласта, перекрытого аргиллитом-алевролитовой пачкой, выполняющей функции

флюидоупора. В западном направлении происходит замещение этой пачки алевро-песчаными породами, что приводит к слиянию песчаников муллинского горизонта с нижнефранскими. На остальной части территории состав горизонта преимущественно алевролитовый с прослоями песчаников в основании и аргиллитов в кровле. На локальных участках разрез представлен только аргиллитами. В зоне передовых надвигов Урала отложения практически отсутствуют. Мощность изменяется от первых метров до 25 м.

В современной конодонтовой шкале граница муллинского горизонта проведена внутри конодонтовой зоны *Lower Mesotaxis falsiovalis* [11] или внутри зоны *Lowermost asymmetricus* [12, 13], выше последнего появления *Skeletognathus norrisi* (Uyeno). На Восточно-Европейской платформе и, в частности, в пределах Волго-Уральского субрегиона вопросы о границе среднего и верхнего девона и стратиграфическом положении пашийского и тиманского горизонтов длительное время остаются предметом дискуссий. В унифицированной стратиграфической схеме Русской платформы [1] рассматриваемая граница принята в основании пашийского горизонта и отвечает подошве зоны *hermanni-cristatus*. Ряд исследователей коррелируют нижнюю границу верхнего отдела с основанием верхнетиманского подгоризонта (обзор в работе [14]). Данная точка зрения нашла свое отражение в Постановлениях МСК [2], но не получила формального подтверждения. В.С. Цыганко [15] вышеозначенную границу проводит в основании саргавского горизонта. По мнению Н.К. Фортунатовой [16], ее целесообразно совместить с подошвой тиманского горизонта. Последний уровень границы принят в данной работе, и, таким образом, пашийский горизонт отнесен к среднему отделу девонской системы.

Пашийский горизонт (свита) выделен А.К. Белосусовым [17] на западном склоне Среднего Урала (Архангело-Пашийский район). В стратиграфической схеме девона Русской платформы [1] принят в объеме отраденских и гайнинских слоев. На основе зонального расчленения по споро-пыльцевым комплексам Р.М. Араслановой удалось обособить характеристики пашийского и тиманского горизонтов на уровне подзон [4, 18]. Из них две нижние подзоны (снизу вверх) *Humenozonotriletes incisus* и *Archaeoperisaccus verrucosus* соответствуют пашийскому горизонту, верхняя подзона обильной *Archaeozonotriletes variabilis* – тиманскому горизонту [1].

Литологически породы подгоризонта представлены преимущественно светло-серыми песчаниками, алевролитами с подчиненными прослоями аргиллитов. Отложения верхнепашийского подгоризонта повсеместно отличаются от нижнепашийских

более глинистым составом, увеличением количества остатков ископаемых организмов. Разрез слабают переслаивающиеся алевролиты, мелкозернистые отсортированные кварцевые песчаники и аргиллиты. По простиранию литологические разно-сти замещают друг друга в разных соотношениях даже в пределах небольших территорий. Мощность изменяется от первых метров до 30 м [19].

Фактический материал и методы исследования

Работа выполнена на основе исследований терригенных отложений нерасчлененной толщи воробьевско-ардатовского и пашийского горизонтов живетского яруса среднего отдела девонской системы, изученных в разрезе скв. Широковская 2. Скважина пробурена на Берестянском поднятии, расположенном в районе сочленения Косьвинско-Чусовской седловины Предуральского краевого прогиба и передовых надвигов Западно-Уральской зоны складчатости (Гремячинский р-н Пермского края).

Вынос керна составил 20 м в изучаемом интервале, что соответствует 100 %. Основой для работы послужили результаты геофизического исследования скважин, а именно гамма-каротаж (ГК), нейтронный гамма-каротаж (НГК) и акустический каротаж (ДТ). Данный материал позволил провести стратиграфическую увязку керна, при которой авторы руководствовались результатам литологического описания керна и палинологических исследований, проведенных в опорной скв. Широковская 1 [20] пробуренной рядом. Схема корреляции скважин приведена на рис. 1.

Отложения эйфельского яруса представлены аргиллитами зеленовато-серыми, тонкослоистыми, хрупкими. Выше по разрезу с несогласием залегают песчаники живетского (воробьевско-ардатовский интервал) яруса в интервале 2404,2–2417,4 м. Далее по тексту приведено описание разреза снизу вверх.

Слой 1. Песчаники светло-серые, среднезернистые, косослоистые, с редкими тонкими прослоями углистого материала, крепкие. Контакт с нижележащим слоем четкий, волнистый. Мощность 3,5 м.

Слой 2. Песчаники серые, алевроитовые и мелкозернистые, с массивной слоистостью, с прожилками углистого материала, крепкие. Контакт с нижележащим слоем четкий, ровный. Мощность 3,25 м.

Слой 3. Алевролиты серые, мелко-крупнозернистые, тонкослоистые, с прожилками углистого материала, хрупкие. Контакт с нижележащим слоем постепенный, ровный. Мощность 0,75 м.

Слой 4. Песчаники светло-серые, алевроитистые и средне-мелкозернистые, с массивной слоистостью, в верхней части слоя со слабоволнистой слоистостью, с прожилками углистого материала, крепкие. Контакт с нижележащим слоем четкий, ровный. Мощность 3,25 м.

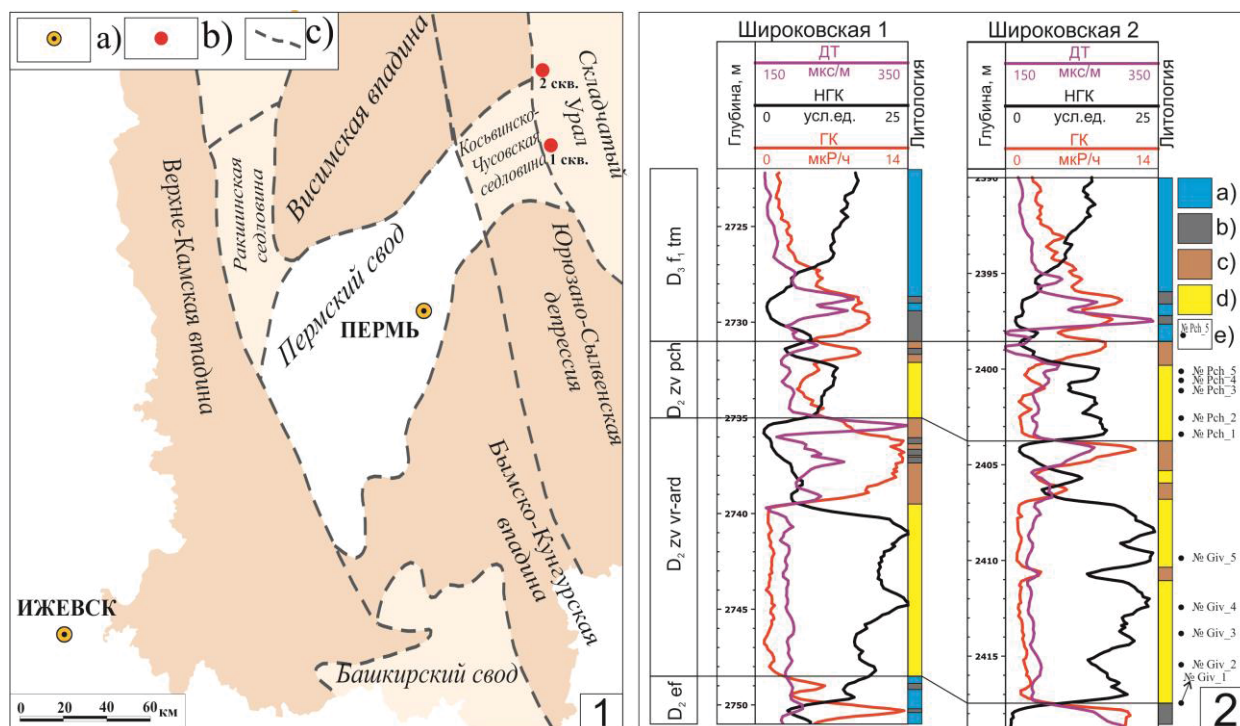


Рис. 1. Местоположение изученной скважины на тектонической схеме Пермского края (1) и схема корреляции изученного разреза скважины Широковская 2 и опорного разреза скважины Широковская 1 (2). Условные обозначения рис. (1): а) города; б) скважины; в) границы тектонических структур. Условные обозначения к рис. (2): а) карбонатные породы; б) аргиллиты; в) алевролиты; д) песчаники; е) точки отбора проб и их номер

Fig. 1. Location of the studied well on the tectonic scheme of the Perm Krai (1) and correlation diagram of the studied section of the Shirokovskaya 2 well and the reference section of the Shirokovskaya 1 well (2). Symbols for figure (1): a) cities; b) wells; c) boundaries of tectonic structures. Symbols for figure (2): a) carbonate rocks; b) argillites; c) siltstones; d) sandstones; e) sampling points and their number

Слой 5. Алевролиты серые, мелко-крупнозернистые, тонкослоистые, хрупкие. Контакт с нижележащим слоем постепенный, ровный. Мощность 1 м.

Слой 6. Песчаники светло-серые, алевролитистые и мелко-среднезернистые, с пологой слоистостью, крепкие. Контакт с нижележащим слоем четкий, ровный. Мощность 0,75 м.

Слой 7. Алевролиты глинистые, темно-серые, мелкозернистые, тонко-среднеслоистые, крепкие. Присутствуют волнистые прожилки темно-зеленого глинистого материала и песчаника мелко-среднезернистого. Контакт с нижележащим слоем постепенный, ровный. Мощность 1,5 м.

Посредством детальной межскважинной корреляции по материалам ГИС [21] выполнено сопоставление описанного интервала с интервалом распространения отложений живетского яруса в разрезе скважины Широковская 1 [20], в которой выполнены палинологические исследования, позволившие определить стратиграфические границы. В Широковской 1 воробьевско-ардатовский горизонт выделен на глубине 2731–2735 м, в котором граница между пашийским и воробьевско-ардатовским горизонтом выделяется по смене серых песчаников и алевролитов на зеленовато-серые алевролиты и аргиллиты, охарактеризованные пашийским комплексом спор [20].

Слой 8. Песчаники алевролитистые мелко-средне- и средне-мелкозернистые, с косою слоистостью, с прожилками углистого материала, крепкие. Контакт с нижележащим слоем четкий, волнистый. Мощность 4 м.

Слой 9. Аргиллиты светло-зеленовато-серые, микро- и тонкослоистые, хрупкие. Мощность 1,35 м.

В разрезе скважины Широковская 1 в терригенных породах определен споро-пыльцевой комплекс *Archaeozonotriletes optivus* – *Hymenozonotriletes krestovnikovi* [20]. Он выделяется в интервале 2731–2735 м, в котором граница между пашийским и воробьевско-ардатовским горизонтом выделяется по смене серых песчаников и алевролитов на зеленовато-серые алевролиты и аргиллиты, охарактеризованные пашийским комплексом спор [20].

В скважине Широковская 2 пашийский горизонт выделен в интервале 2398,5–2403,8 м.

Слой 8. Песчаники алевролитистые мелко-средне- и средне-мелкозернистые, с косою слоистостью, с прожилками углистого материала, крепкие. Контакт с нижележащим слоем четкий, волнистый. Мощность 4 м.

Слой 9. Аргиллиты светло-зеленовато-серые, микро- и тонкослоистые, хрупкие. Мощность 1,35 м.

В разрезе скважины Широковская 1 в терригенных породах определен споро-пыльцевой комплекс *Archaeozonotriletes optivus* – *Hymenozonotriletes krestovnikovi* [20]. Он выделяется в интервале 2731–2735 м, в котором граница между пашийским и воробьевско-ардатовским горизонтом выделяется по смене серых песчаников и алевролитов на зеленовато-серые алевролиты и аргиллиты, охарактеризованные пашийским комплексом спор [20].

Тиманский горизонт в разрезе скважины Широковская 2 выделен в интервале 2403,8 м и выше. Верхняя граница горизонта керном не охарактеризована. Представлен известняками серыми, скрыто-микросталлическими, массивными с обильными включениями раковин брахиопод. Граница с нижележащим пашийским горизонтом выделена на основании сопоставления по ГИС со скважиной Широковская 1, в которой, в свою очередь, данная граница выделена по межскважинной корреляции по ГИС с разрезом Вильвенской скважины 70, где тиманский горизонт сходного строения и литологии датирован тиманской фауной [20].

Петрографическое изучение шлифов проведено на поляризационном микроскопе Olympus BX51 (Япония) в проходящем свете с использованием методов скрещенных николей. Кроме этого, были сделаны снимки шлифов в проходящем свете и в скрещенных николях при увеличении 50× и 100× (аналитик Е.М. Томила).

Исследования минерального состава пород и глинистой фракции проводились с помощью рентгеновского дифрактометра XRD-6000 (Shimadzu). Общий минеральный состав определялся по дифрактограммам истертых до порошка валовых проб. Глинистая фракция выделялась седиментационным способом после предварительной обработки 10 % раствором уксусной кислоты для удаления карбонатного цемента. Для диагностики основных групп глинистых минералов полученные после осаждения на стекла ориентированные препараты исследовались в воздушно-сухом состоянии после насыщения этиленгликолем, прокаливании при температурах 350 и 550 °С, обработки 10 % раствором теплой соляной кислоты [22]. Содержания минералов в валовых пробах определялись с помощью метода Ритвелда [23] в программе Topas 5.0. Соотношения минералов в глинистой фракции рассчитывались по интегральным интенсивностям основных диагностических отражений с использованием корундовых коэффициентов (аналитик Г.А. Исаева).

Содержания породообразующих оксидов определялись рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре S8 Tiger (Bruker) (аналитик И.С. Федотов) [24]. Для анализа породообразующих элементов изготавливались стеклообразные диски путем плавления гомогенизированной смеси порошка из прокаленного материала пробы с боратами лития при температуре 1100 °С в платиновых тиглях в печи индукционного плавления. Анализ примесных и микропримесных элементов (с содержанием <5 %) проведен с использованием аттестованной методики определения элементов методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой согласно методике СТО ТГУ 048-2012 (аналитики

Е.С. Рабцевич). Пределы обнаружения следовых количеств элементов составляют 0,001 г/т. Анализ выполнен методом ICP-MS на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7500cx (Agilent Technologies Inc., США) с использованием внутреннего стандарта (In Internal standard, Inorganic Ventures, США) и внешнего стандарта СГД-2А (ГСО 8670-2005). Определения микроэлементного состава пород выполнены на оборудовании Томского регионального центра коллективного пользования Национального исследовательского Томского государственного университета.

Петрографическое описание шлифов

Минеральный состав терригенных пород пашийского горизонта в соответствии с классификацией по Н.В. Логвиненко [25] отвечает полевошпат-кварцевым песчаниками (рис. 2).

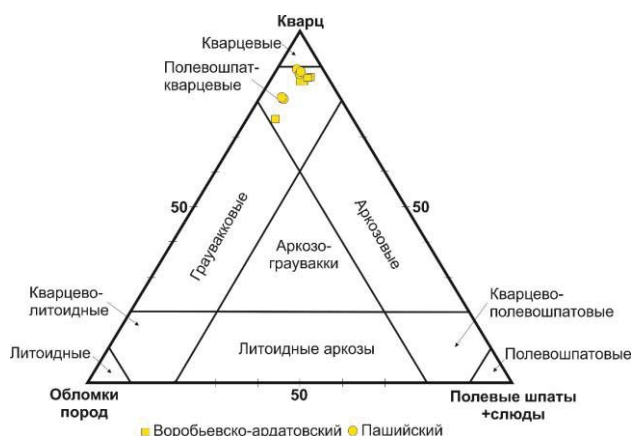


Рис. 2. Классификационные диаграммы для терригенных пород воробьевско-ардатовского и пашийского горизонтов [25]

Fig. 2. Classification diagrams for terrigenous rocks of the Vorobyevsky-Ardatov and Pashysky horizons according to [25]

Снизу вверх по разрезу степень сортировки изменяется от средней до хорошей. Хорошая сортировка преобладает в большинстве образцов. Окатанность обломочного материала практически не изменяется, преобладают полуокатанные обломки. Структура псаммитовая, алевропсаммитовая, размер зерен изменяется от 0,02 до 0,4 мм, преобладают зерна 0,18–0,22 мм. Среди обломков различаются полуокатанные (70–80 %), неокатанные (5 %), отмечаются окатанные обломки (15–20 %) (рис. 3, А).

Для пород характерен смешанный тип цементов. В песчаниках присутствует бесцементное контактное соединение зерен кварца и обломков, которое характеризуется конформной структурой (рис. 3, В), а также обнаруживается поровый карбонатный и сульфатный цемент.

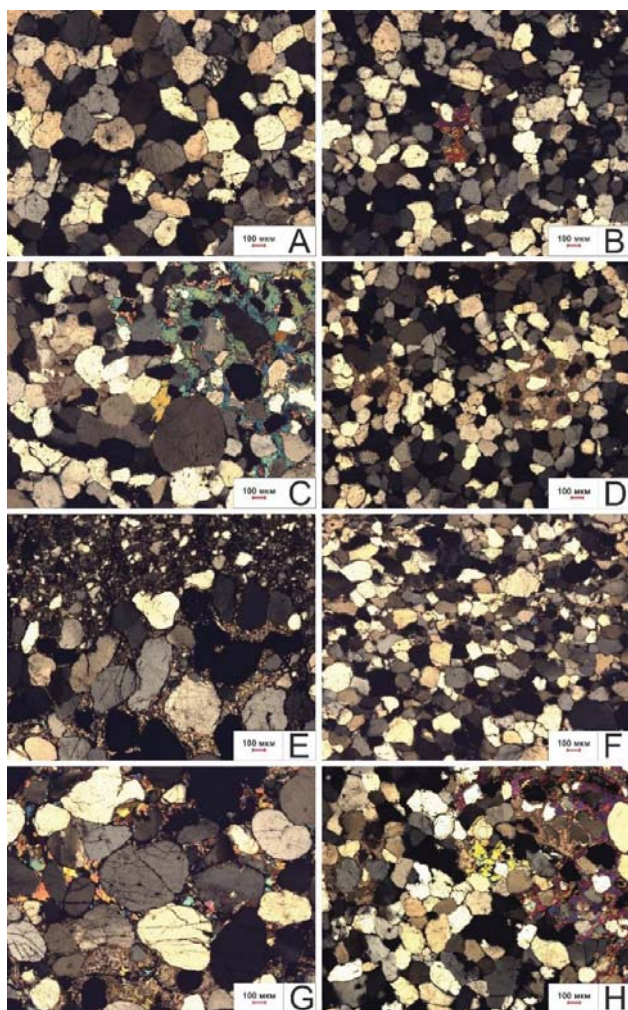


Рис. 3. Микрофотографии шлифов терригенных пород пашийского (А–Д) и воробьевско-ардаатовского (Е–Г) горизонтов (никколи скрещены): А) песчаник алевритистый средне-мелкозернистый полевошпат-кварцевый; В) бесцементное контактное или регенерационное кварцевое соединение зерен с формированием конформных контактов; С) поровый сульфатный цемент, который образует пойкилитовую структуру; Д) поровый карбонатный цемент; Е) линзовидная прослойка глинистого алевролита размером 2×1,5 мм в среднезернистом песчанике; F) песчаник алевритовый мелкозернистый кварцевый с порово-пленочным глинистым цементом; Г) песчаник среднезернистый кварцевый с поровым сульфатным цементом; Н) поровый карбонатный и сульфатный цемент; карбонатная составляющая цемента представлена кристаллами кальцита, а сульфатная – ангидритом, образуя пойкилитовую структуру

Fig. 3. Micrographs of thin sections of terrigenous rocks of the Pashysky (A–D) and Vorobyevsky-Ardatov (E–G) horizons (crossed nicols): A) silty medium-fine-grained feldspar-quartz sandstone; B) cementless contact or regeneration quartz joint of grains with the formation of conformal contacts; C) pore sulfate cement that form poikilitic structures; D) porous carbonate cement; E) lenticular layer of clayey siltstone 2×1.5 mm in size in medium-grained sandstone; F) silty fine-grained quartz sandstone with porous-film clayey cement; G) medium-grained quartz sandstone with porous sulfate cement; H) pore carbonate and sulfate cement; the carbonate component of cement is represented by calcite crystals, and sulfate component is represented by anhydrite, forming a poikilitic structure

Карбонатная составляющая цемента представлена кальцитом, а сульфатная – ангидритом, которые образуют пойкилитовую структуру, чаще всего сульфатный цемент преобладает (рис. 3, C, D). В единичных случаях в отдельных порах развивается каолинит с редкой примесью гидрослюда. Средний минеральный состав пород пашийского горизонта: кварц (~86 %), полевые шпаты (~6 %) и обломки пород различного генезиса (~8 %). Обломки пород представлены кварцитами глинистого и кремневого состава. В породах диагностированы минералы, характерные для магматических пород кислого и основного состава: циркон, сфен, лейкоксен, амфиболы и пироксены (рис. 4).

Фигуративные точки изученных пород воробьевско-ардаатовского горизонта на классификационной диаграмме Н.В. Логвиненко также расположились в поле значений полевошпат-кварцевых песчаников. Снизу вверх по разрезу степень сортировки чередуется от хорошей до средней. Окатанность обломочного материала изменяется от окатанных до полуокатанных обломков. Внизу разреза наблюдается единичная линзовидная прослойка глинистого алевролита размером 2×1,5 мм (рис. 3, E).

Структура псаммитовая, алевропсаммитовая, размер зерен изменяется от 0,02 до 0,6 мм, преобладают зерна 0,15–0,3 мм. Среди обломков различаются полуокатанные (30–80 %), окатанные (15–65 %) и неокатанные (5 %) обломки (рис. 3, F).

Для пород характерен поровый карбонатный и сульфатный цемент (рис. 3, G). Карбонатная составляющая цемента представлена кальцитом, а сульфатная – ангидритом, которые образуют пойкилитовую структуру. Сульфатный цемент преобладает. Также наблюдается пленочно-поровый глинистый, гидрослюдистого состава (рис. 3, H) и бесцементное контактное или регенерационное кварцевое соединение зёрен с формированием конформных контактов. В порах развивается каолинит, чаще всего плохо раскристаллизованный. Так, средний минеральный состав пород воробьевско-ардаатовского горизонта таков: кварц (~82 %), полевые шпаты (~8 %) и обломки пород различного генезиса (~10 %). Последние представлены кварцитами, гранитоидами и кремневыми породами. В породах диагностированы минералы, характерные для магматических пород кислого и основного состава: циркон, турмалин, сфен, лейкоксен, амфиболы (рис. 4).

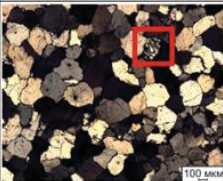
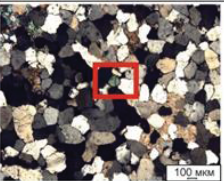
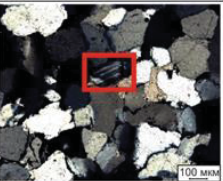
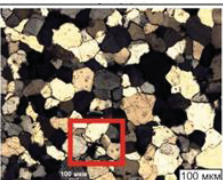
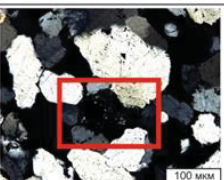
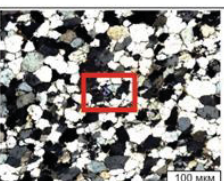
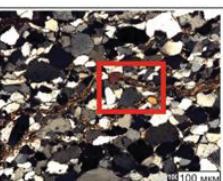
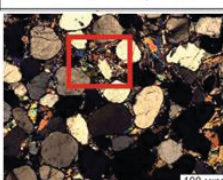
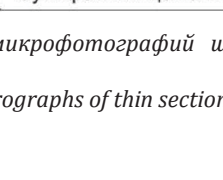
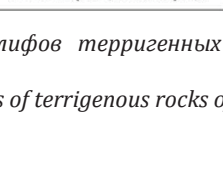
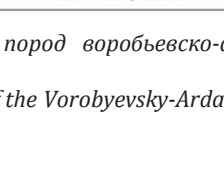
Горизонт	Порода				
Пашийский	Олигомиктовые (полевошпат-кварцевый) песчаники				
		Обломок кварцита	Сульфатный цемент	Обломок пироксена	Обломок полевого шпата
					
		Обломок циркона	Регенерация кварца	Каолинит	
					
		Обломок кварцита	Обломок гранитоида	Обломок циркона	Обломки пироксена и амфибола
Воробьевско-ардатовский	Олигомиктовые (полевошпат-кварцевый) песчаники				
		Сульфатный цемент	Регенерация кварца	Глинистый цемент	
					

Рис. 4. Фототаблица микрофотографий шлифов терригенных пород воробьевско-ардатовского и пашийского горизонтов

Fig. 4. Phototable of micrographs of thin sections of terrigenous rocks of the Vorobyevsky-Ardatov and Pashysky horizons

Петрогенные оксиды

Содержания петрогенных оксидов и рассчитанные значения основных химических индексов CIA и ICV [26] приведены в таблице.

Воробьевско-ардатовский горизонт. Содержания оксидов в терригенных породах варьируется в пределах: $\text{SiO}_2=64,8\text{--}91,3$, $\text{TiO}_2=\text{до } 0,1$, $\text{Al}_2\text{O}_3=0,66\text{--}1,12$, $\text{Fe}_2\text{O}_3=\text{до } 0,75$, $\text{MgO}=0,22\text{--}0,88$, $\text{CaO}=2,1\text{--}12,8$, $\text{Na}_2\text{O}=\text{до } 0,1$, $\text{K}_2\text{O}=\text{до } 0,13$ мас. %. На классификационной диаграмме Ф. Петтиджона [27] фигуративные точки состава песчаников располагаются в поле сублитаренитов и кварцевых арениитов (рис. 5, А). На диаграмме (рис. 5, В) видно, что песчанки получили значения CIA (7,8–24,6) и ICV (4,45–12,6) и расположены в поле незрелых слабыветрелых пород.

Пашийский горизонт. Содержания оксидов в песчаниках варьируют в пределах: $\text{SiO}_2=94,2\text{--}96,3$, $\text{TiO}_2=\text{до } 0,13$, $\text{Al}_2\text{O}_3=0,6\text{--}1,57$, $\text{Fe}_2\text{O}_3=0,15\text{--}0,45$, $\text{MgO}=0,15\text{--}0,45$, $\text{CaO}=0,1\text{--}0,7$, $\text{Na}_2\text{O}=\text{до } 0,15$, $\text{K}_2\text{O}=\text{до } 0,31$ мас. %. На классификационной диаграмме Ф. Петтиджона фигуративные точки состава песчаников располагаются в поле сублитарени-

тов и кварцевых арениитов (рис. 5, А). На диаграмме (рис. 5, В) видно, что песчаники получили значения CIA (Chemical Index of Alteration – индекс химического выветривания) (50,8–77,5) и ICV (Index of Compositional Variability – индекс зрелости осадков) (0,68–1,97) и расположены в поле зрелых и незрелых слабыветрелых пород.

Редкоземельные элементы

Содержания редкоземельных элементов (РЗЭ) в изученных образцах представлены в таблице. Для наглядного представления особенностей распределения этих элементов проведено их нормирование на хондрит [28] (рис. 5, С–D).

Для пород воробьевско-ардатовского горизонта обнаруживаются фракционированные спектры распределения РЗЭ ($\text{Lan/Ybn}=6,87\text{--}17,64$) и обогащение легкими лантаноидами ($\text{Lan/Smn}=3,37\text{--}4,30$) относительно тяжелых ($\text{Gdn/Ybn}=1,24\text{--}2,17$). На спектрах распределения РЗЭ фиксируется ярко выраженная отрицательная европиевая аномалия ($\text{Eu/Eu}^*=0,15\text{--}0,62$) (рис. 5, D).

Таблица. Петрохимический состав и содержания редких и редкоземельных элементов в песчаниках воробьевско-ардатовского и пашийского горизонтов

Table. Petrochemical composition and content of rare and rare earth elements in sandstones of the Vorobyevsky-Ardatov and Pashysky horizons

Лабораторный номер Laboratory number	Psh-1	Psh-2	Psh-3	Psh-4	Psh-5	Giv-6	Giv-7	Giv-8	Giv-9	Giv-10
Глубина, м Depth, m	2403,6	2403,9	2404,4	2406,5	2407,4	2410,6	2412,8	2414,2	2415,8	2417,9
%	Пашийский горизонт Pashysky horizon					Воробьевско-ардатовский горизонт Vorobyevsky-Ardatov horizon				
SiO ₂	94,2	96,2	94,2	95,2	96,3	64,4	91,3	90,6	88,0	64,8
TiO ₂	0,09	0,06	0,12	0,13	0,13	0,03	0,08	0,08	0,10	0,07
Al ₂ O ₃	0,95	0,60	1,24	1,57	1,10	0,97	0,73	0,66	0,81	1,12
Fe ₂ O ₃	0,41	0,15	0,45	0,19	0,15	0,07	0,27	0,26	0,41	0,75
MnO	0,16	0,09	0,08	0,12	0,11	0,17	0,09	0,09	0,12	0,14
MgO	0,45	0,24	0,18	0,20	0,15	0,28	0,66	0,63	0,88	0,22
CaO	0,70	0,38	0,76	0,15	0,13	11,30	2,07	2,46	3,10	12,80
Na ₂ O	0,15	0,02	0,08	0,09	0,08	0,07	0,09	0,08	0,08	0,10
K ₂ O	0,07	0,04	0,16	0,31	0,11	0,05	0,08	0,08	0,08	0,13
P ₂ O ₅	0,04	0,03	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04
SO ₃	0,44	0,30	0,85	0,14	0,15	15,81	1,79	2,32	2,79	17,53
П.П.П.	1,19	0,83	0,78	0,74	0,52	5,58	1,74	1,65	2,42	1,06
Сумма	98,82	98,94	98,96	98,88	98,91	98,80	98,96	98,90	98,86	98,74
Na ₂ O/K ₂ O	2,14	0,50	0,50	0,29	0,73	1,40	1,13	1,00	1,00	0,77
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	99,2	160,4	76,0	60,6	87,5	66,4	125,1	137,2	108,7	57,9
CIA	50,8	57,7	55,4	74,1	77,5	7,8	24,6	20,1	19,9	7,9
ICV	1,97	1,48	1,41	0,68	0,68	12,2	4,45	5,44	5,74	12,6
ppm										
La	5,34	4,44	5,81	5,83	4,83	3,30	6,38	5,97	5,56	4,78
Ce	9,54	8,74	10,70	10,76	8,96	6,36	10,91	10,16	9,97	9,42
Pr	1,26	1,11	1,51	1,47	1,00	0,72	1,37	1,29	1,27	1,21
Nd	5,28	4,63	6,74	6,21	3,55	2,61	5,16	4,85	4,86	4,57
Sm	1,20	1,07	2,15	1,37	0,71	0,48	0,95	0,90	0,98	0,89
Eu	0,21	0,17	0,48	0,22	0,12	0,08	0,15	0,14	0,04	0,14
Gd	0,96	0,73	2,42	0,95	0,64	0,34	0,74	0,72	0,84	0,71
Tb	0,14	0,10	0,36	0,14	0,11	0,05	0,12	0,12	0,14	0,13
Dy	0,72	0,48	1,59	0,68	0,59	0,22	0,62	0,61	0,74	0,60
Ho	0,15	0,10	0,33	0,14	0,14	0,04	0,14	0,13	0,17	0,15
Er	0,40	0,28	0,77	0,38	0,37	0,11	0,36	0,40	0,46	0,40
Tm	0,05	0,03	0,08	0,05	0,05	0,01	0,05	0,05	0,06	0,05
Yb	0,42	0,28	0,74	0,43	0,43	0,13	0,43	0,43	0,55	0,38
Lu	0,05	0,04	0,09	0,06	0,06	0,02	0,05	0,06	0,07	0,05
Sc	0,62	0,51	1,03	1,34	0,62	0,26	0,56	0,55	0,87	1,63
Zr	31,10	21,10	39,19	33,77	30,85	6,48	32,53	35,19	45,52	11,19
Th	0,99	0,69	1,39	1,12	0,97	0,48	0,99	1,10	1,19	1,39
(La/Yb) _n	8,53	10,80	5,27	9,18	7,55	17,64	9,97	9,37	6,87	8,58
(La/Sm) _n	2,81	2,62	1,70	2,68	4,25	4,30	4,24	4,18	3,56	3,37
(Gd/Yb) _n	1,83	2,13	2,63	1,78	1,20	2,17	1,38	1,36	1,24	1,52
Eu/Eu*	0,60	0,57	0,65	0,58	0,53	0,62	0,56	0,54	0,15	0,54
Th/Sc	1,60	1,35	1,35	0,84	1,56	1,85	1,77	2,00	1,37	0,85
Zr/Sc	50,16	41,37	38,05	25,20	49,76	24,92	58,09	63,98	52,32	6,87

Примечания: CIA=[Al₂O₃/(Al₂O₃+CaO+Na₂O+K₂O)]×100; ICV=(TiO₂+Fe₂O₃+MnO+MgO+CaO+K₂O+Na₂O)/Al₂O₃;
Eu/Eu* = (Eun)/((Smn)×(Gdn))^{1/2}; (La/Yb)_n, (La/Sm)_n (Ga/Yb)_n – отношения, нормированные по хондриту [28].
Note: CIA=[Al₂O₃/(Al₂O₃+CaO+Na₂O+K₂O)]×100; ICV=(TiO₂+Fe₂O₃+MnO+MgO+CaO+K₂O+Na₂O)/Al₂O₃;
Eu/Eu* = (Eun)/((Smn)×(Gdn))^{1/2}; (La/Yb)_n, (La/Sm)_n (Ga/Yb)_n ratios normalized by chondrite [28].

Для пород пашийского горизонта обнаруживаются фракционированные спектры распределения РЗЭ (Lan/Ybn=5,27–10,80) и обогащение легкими лантаноидами (Lan/Smn=1,70–4,25) относительно тяжелых (Gdn/Ybn=1,20–2,63). На спектрах распределения РЗЭ фиксируется слабо выраженная отрицательная европиевая аномалия (Eu/Eu*=0,53–0,65) (рис. 5, С).

Обсуждение результатов

Генетическая типизация терригенных пород живетского яруса, проведенная с использованием системы индексов CIA/ICV [26], позволила аттестовать песчаники воробьевско-ардатовского горизонта как незрелые осадки первого цикла седиментации (рис. 5, В), т. е. породы, образованные за счет разрушения первично-магматических и метаморфических пород.

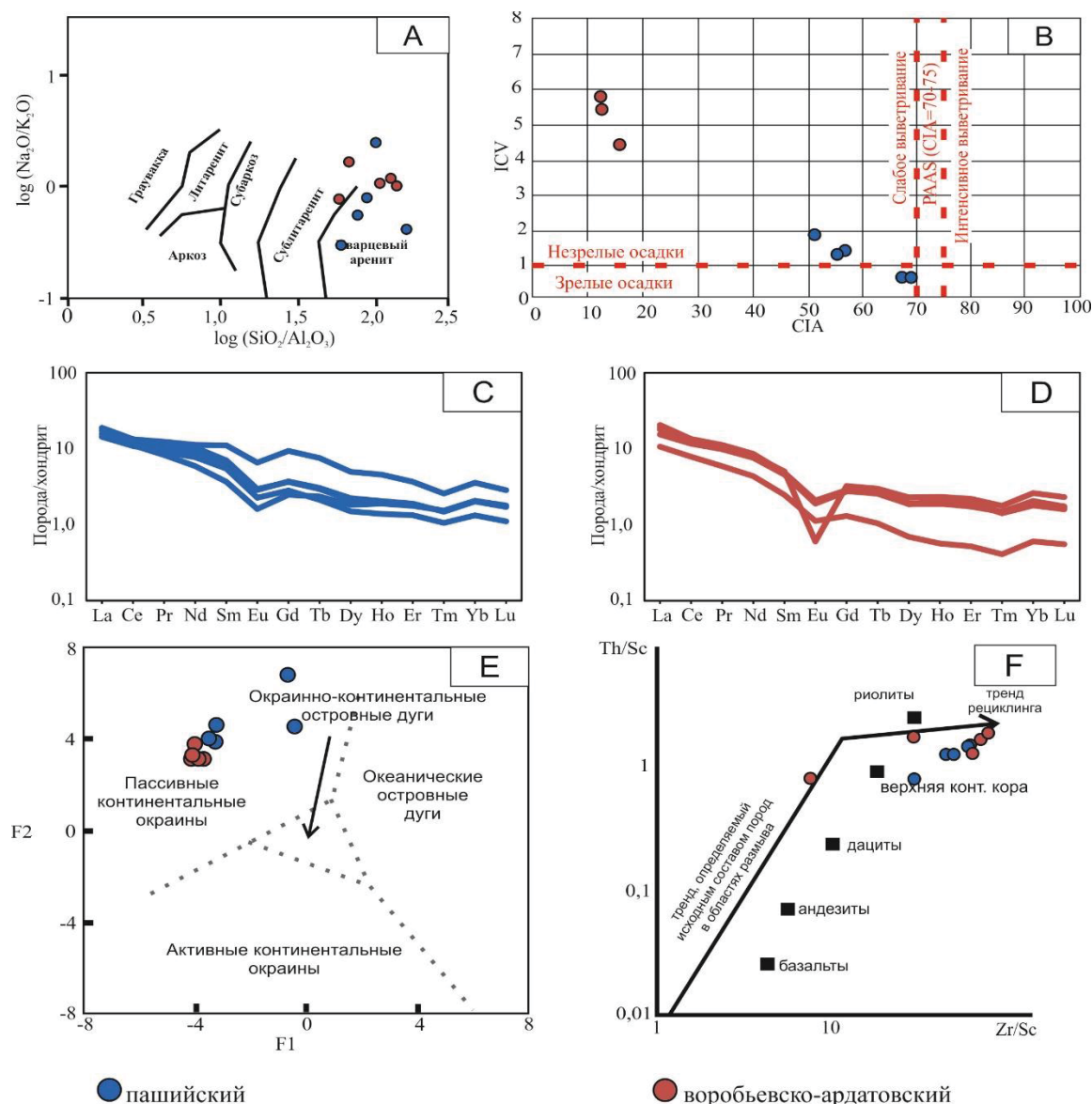


Рис. 5. Положение фигуративных точек на диаграммах (А) [27]; диаграмма CIA [31]/ICV (В) [26]; спектры распределения РЗЭ (С), нормированные по хондриту [28]; палеогеодинамическая дискриминационная диаграмма F1–F2 М. Бхатии (D) [29]; дискриминационные диаграммы для определения состава источника сноса; (Е) диаграмма Zr/Sc–Th/Sc [30]

Fig. 5. Position of figurative points on diagrams (A) [27]; chart CIA [31]/ICV (B) [26]; REE distribution spectra (C) normalized to chondrite [28]; paleogeodynamic discrimination diagram F1–F2 of M. Bhatia (D) [29]; discrimination diagrams for determining the composition of the drift source; (E) Zr/Sc–Th/Sc diagram [30]

Фигуративные точки состава терригенных пород пашийского горизонта расположились в поле осадков первого и второго цикла седиментации (рис. 5, В) слабовыветрелых пород.

По результатам проведенных исследований изученные породы разделились на две естественные группы.

К первой группе относятся породы воробьевско-ардатовского горизонта, которые характеризуются хорошей и средней степенью сортировки и окатанности. Эти породы преимущественно полевошпат-кварцевого состава с обломками пород различного

генезиса (~9 %). Анализ обломочной части и акцессорных минералов показал, что в области источника разрушались преимущественно магматические и метаморфические породы кислого состава. При этом присутствуют минералы-индикаторы пород основного состава. Для этой группы пород фиксируется наличие отрицательной европиевой аномалии. Таким образом, характер распределения спектров РЗЭ подтверждает сделанные выводы по результатам петрографических исследований о преимущественно кислом составе пород в области источника сноса.

Ко второй группе относятся породы пашийского горизонта, которые характеризуются хорошей и средней степенью сортировки и окатанности. Эти породы преимущественно полевошпат-кварцевого состава с обломками пород (~8 %). Анализ обломочной части и минералов тяжелой фракции показал, что в области источника разрушались магматические породы кислого и основного составов и метаморфические породы. Для этой группы пород фиксируется наличие отрицательной европиевой аномалии. Таким образом, мы можем предположить, что для пород воробьевско-ардамовского горизонта в области источника сноса разрушались преимущественно породы кислого состава. При этом имел место источник основного состава.

Присущие терригенным породам воробьевско-ардамовского и пашийского горизонтов значения отношений Zr/Sc и Th/Sc указывают, в соответствии с представлениями [30], на то, что в их составе доминирует материал первого и второго цикла седиментации, источником которого были магматические породы преимущественно кислого состава (рис. 5, F).

Контакт терригенных пород живетского и нижежащих карбонатных пород эйфельского яруса фиксирует поверхность стратиграфического несогласия. Эрозионное событие на Восточно-Европейской платформе в целом совпадает со временем глобальной регрессии [31]. Живетский век начался с трансгрессии. Область седиментации живетского века представляла собой внутриконтинентальный бассейн, открытый в сторону Уральского палеоокеана. Основным источником поставки обломочного материала здесь являлась древняя суша на севере, объединявшая Коми-Пермяцкую, Гайнинскую, Ксенофонтово-Ябуровскую приподнятые зоны. С юго-востока материал поставляла Красноуфимская приподнятая зона [8, 31, 32]. Формиро-

вание отложений происходило в переходных условиях осадконакопления, существовала обдирная дельтовая система [33–40].

Накопление пород шло в обстановках пассивной континентальной окраины, что подтверждается расположением фигуративных точек на палеогеодинамической диаграмме [29] (рис. 5, E).

Заключение

В результате проведенных исследований выполнено послойное литологическое описание живетского интервала разреза в скважине и его сопоставление с соседним разрезом, в котором произведены палинологические исследования и подтвержден и обоснован возраст.

Формирование терригенных отложений живетского яруса происходило в переходных обстановках осадконакопления на обширной дельтовой равнине.

Песчаники воробьевско-ардамовского интервала являются петрогенными, образованными за счет разрушения первично-магматических и метаморфических пород преимущественно кислого и основного состава. Песчаники пашийского горизонта лито- и петрогенные. В области источника разрушались магматические и метаморфические породы кислого и основного составов.

Совокупность вещественных характеристик терригенных пород живетского яруса, с учетом опубликованных данных о литолого-фациальных особенностях этих пород, позволила предположить, что седиментация пород происходила на пассивной континентальной окраине при поступлении обломочного материала за счет размыва как раннее накопленных терригенных пород девона, которые были в экспозиции, так и разрушения выступов фундамента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Решение межведомственного регионального стратиграфического совещания по среднему и верхнему палеозою Русской платформы, с региональными стратиграфическими схемами. Девонская система. – Л.: ВСЕГЕИ, 1990. – 58 с.
2. Соболев Н.Н., Евдокимова И.О. Девонская система // Постановления Межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий. Состояние изученности стратиграфии докембрия и фанерозоя России. Задачи дальнейших исследований. – СПб: ВСЕГЕИ, 2008. – С. 52–60.
3. Зверева К.А., Кузнецов Ю.И. Геофизическая, литолого-палеонтологическая, характеристика и унификация основных маркирующих горизонтов девонских и каменноугольных отложений Пермского Прикамья // Новые данные о геологическом строении и нефтегазоносности Пермского Прикамья: Тр. КФ ВНИГНИ. – Пермь: Пермское книжн. изд-во, 1966. – Вып. 57. – С. 225–232.
4. Арасланова Р.М. Стратиграфическое распределение спор в терригенных отложениях девона Пермского Прикамья // Геология и нефтегазоносность севера Урало-Поволжья: Тр. ВНИГНИ. – Пермь: Пермское книжн. изд-во, 1973. – Вып. 123. – С. 182–190.
5. Ляшенко А.И. Стратиграфия девонских отложений Волго-Уральской области // Геол. нефти и газа. – 1960. – № 2. – С. 20–24.
6. Нефтегазоносные и перспективные комплексы центральных и восточных областей Русской платформы // Девонские отложения Волго-Уральской нефтегазоносной области. Тр. ВНИГНИ. Вып. 75. – Л.: Недра, 1970. – Т. 2. – 272 с.
7. Тихомиров С.В. Этапы осадконакопления девона Русской платформы и общие вопросы развития и строения стратисферы. – М.: Недра, 1995. – 445 с.
8. Багаев А.Н. Живетские песчаники на севере Пермского края // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2012. – Т. 7. – № 1. DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/1_2015 URL: http://www.ngtp.ru/rub/4/14_2012.pdf (дата обращения 15.03.2024).

9. Микрюков М.Ф., Тимергазин К.Р. Новые данные по стратиграфии и литологии терригенных отложений девона Бавлинско-Туймазинского нефтеносного района // Нефт. хоз-во. – 1948. – № 9. – С. 43–53.
10. Стратиграфический словарь СССР. Кембрий, ордовик, силур, девон / под ред. И.Е. Занина, Б.К. Лихарева. – Л.: Недра, 1975. – 622 с.
11. Ziegler W., Sandberg C. The Late Devonian standard conodont zonation // Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg. – 1990. – 115 p.
12. Ziegler W. Taxonomie und Phylogenie oberdevonischer conodonten und ihre stratigraphische Bedeutung // Abh. Hess. L.-Amt Bodenf. – 1962. – 166 p.
13. Ziegler W. Conodont stratigraphy of the European Devonian // Geol. Soc. Amer. Mem. – 1971. – Vol. 127. – P. 227–284. DOI: <https://doi.org/10.1130/MEM127-p227>.
14. Унифицированная субрегиональная стратиграфическая схема верхнедевонских отложений Волго-Уральского субрегиона / Н.К. Фортунатова, С.М. Шик, Е.Л. Зайцева и др. – М.: ФГБУ «ВНИГНИ», 2018. – 64 с.
15. Цыганко В.С. Девон западного склона севера Урала и Пай-Хоя (стратиграфия, принципы расчленения, корреляция). – Екатеринбург: УрО РАН, 2011. – 356 с.
16. Фортунатова Н.К., Зайцева Е.Л., Карцева О.А. Строение девонского терригенного комплекса и положение границы среднего и верхнего девона на западе Татарстана // Бюллетень МОИП. Отдел геологический. – 2013. – Т. 88. – Вып. 2. – С. 22–49.
17. Белоусов А.К. Бокситы и диаспор-шамозитовые руды западного склона Южного Урала // Тр. Всесоюз. НИИ минерального сырья. – 1937. – Вып. 112. – С. 70–106.
18. Арасланова Р.М., Сташкова Э.К. Зональное расчленение по спорам нижнефранских отложений и выделение тиманского горизонта в разрезах Пермского Прикамья // Геологическое изучение и использование недр: научно-техн. инф. сб. ООО Геоинформмарк. – М.: ООО Геоинформмарк, 2002. – Вып. 1. – С. 9–20.
19. Багаев А.Н. Франские песчаники на севере Пермского края // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2015. – Т. 10. – № 1. URL: http://www.ngtp.ru/rub/4/1_2015.pdf (дата обращения 15.03.2024).
20. Геологические результаты бурения Широковской параметрической скважины 1 (Пермская область) / Э.К. Сташкова, С.В. Матяшов, А.В. Паняев, М.Г. Фрик, Г.И. Титова, А.П. Вилесов, В.П. Потапов, Н.Н. Акулова, Н.В. Быкова, И.С. Батова, Р.М. Арасланова, Т.В. Стукова // Геология, методы поисков, разведки и оценки месторождений топливно-энергетического сырья. – М.: ООО «Геоинформмарк», 2004. – 78 с.
21. Методические рекомендации к корреляции разрезов скважин / под ред. И.С. Гутмана. – М.: Недра, 2013. – 112 с.
22. Рентгенография основных типов породообразующих минералов (слоистые и каркасные силикаты) / под ред. В.А. Франк-Каменецкого. – Л.: Недра, 1983. – 359 с.
23. The Rietveld method. International Union of Crystallography / Ed. by R.A. Young. – UK: Oxford University Press, 1993. – 298 p. DOI: <https://doi.org/10.1002/crat.2170300412>.
24. Thomsen V. Basic fundamental parameters in X-ray fluorescence May Spectroscopy // Springfield then Eugene then Duluth. – 2007. – Vol. 22. – № 5. – P. 46–50.
25. Логвиненко Н.В. Петрография осадочных пород (с основами методики исследования). – М.: Высшая школа, 1974. – 400 с.
26. Cox R., Lowe D.R.A. Conceptual review of regional-scale controls on the composition of clastic sediment and the co-evolution of continental blocks and their sedimentary cover // Journal of Sedimentary Research. – 1995. – Vol. 1. – P. 1–12.
27. Pettijohn F.I., Potter P.E., Siever R. Sand and sandstone. – New York: Springer, 1972. – 618 p.
28. Boynton W.V. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies // Rare earth element geochemistry / Ed. by P. Henderson. – Elsevier, 1984. – P. 63–114. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-42148-7.50008-3>.
29. Bhatia M.R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones // J. Geol. – 1983. – Vol. 91. – P. 611–627. DOI: <http://dx.doi.org/10.1086/628815>.
30. Cullers R.L. Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA // Chem Geol. – 2002. – Vol. 191. – P. 305–327. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(02\)00133-X](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(02)00133-X).
31. Кутуков А.В., Чернышев И.В. О живетско-нижнефранских отложениях платформенной части Пермской области // Геологическое строение и нефтегазоносность Волго-Уральской области и сопредельных районов: Тр. ВНИГНИ. – 1963. – Вып. 36. – С. 121–126.
32. 400 миллионов лет геологической истории южной части Восточной Европы / под ред. Н.В. Межеловского, Н.В. Морозова, А.М. Никишина. – М.: Геокарт, ГЕОС, 2005. – 388 с.
33. Selim S.S. Sedimentology and stratigraphic evolution of fluvial-tidal transition reservoirs: an outcrop analog for the hydrocarbon-bearing Bahariya Formation, Western Desert, Egypt // Journal of Sedimentary Research. – 2023. – Vol. 93. – № 1. – P. 50–70.
34. Paleoenvironmental evolution of an Early Devonian section from Paraná Basin (South of Brazil) based on a multiproxy approach / R.M.A. Gama, K.B. Costa, D.E.S. dos Reis, E. Pereira // J. Sediment. Environ. – 2022. – Vol. 7. – P. 111–123.
35. Bonev N., Chiaradia M., Moritz R. Strontium isotopes reveal Early Devonian to Middle Triassic carbonate sedimentation in the Sakar-Strandzha Zone, SE Bulgaria // Int J Earth Sci (Geol Rundsch). – 2022. – Vol. 111. – P. 1307–1314.
36. The proto-type basin and tectono-paleogeographic evolution of the Tarim basin in the Late Paleozoic / J. Xia, Z. Zhong, S. Huang, C. Luo, H. Lou, H. Chang, X. Li, L. Wei // Front. Earth Sci. – 2023. – Vol. 11. – P. 1–17.
37. Proterozoic–Phanerozoic tectonic evolution of the Qilian Shan and Eastern Kunlun Range, northern Tibet / Chen Wu, Jie Li, A.V. Zuza, P.J. Hapf, Xuanhua Chen, Lin Ding // GSA Bulletin. – 2021. – Vol. 134. – № 9–10. – P. 2179–2205.
38. Waters J., Ausich W. Gennaeocrinus tariatensis, a new Emsian (Devonian) monobathrid crinoid from the Tarvagatay Terrane of Mongolia // Journal of Paleontology. – 2022. – Vol. 96. – № 3. – P. 631–637.
39. Строение и этапы развития осадочного бассейна северо-востока Восточно-Европейской платформы в протерозое и палеозое на основе многолетних наблюдений геологических разрезов и исследований глубоких скважин / А.И. Сулима,

- А.В. Плюснин, Л.Д. Плешков, Я.С. Трубин, В.Д. Тимофеев // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332. – № 11. – С. 141–160. DOI: <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/11/2928>.
40. Условия осадконакопления, вещественный состав и реконструкция пород питающих провинций отложений визейского яруса Башкирского свода (по результатам изучения керна скважины на юге Пермского края) / А.В. Плюснин, А.И. Сулима, Д.А. Староселец, Е.М. Томилина, Г.А. Исаева, И.В. Афонин, И.С. Федотов, Е.С. Рабцевич, Д.М. Бобров, М.С. Сергеев // Георесурсы. – 2024. – Vol. 26 (1). – С. 52–70. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2024.1.5>

Информация об авторах

Игорь Викторович Афонин, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории геохронологии и геодинамики, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия, 634050, Томск, пр. Ленина, 36; heaven05@list.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5942-6688>

Алексей Владимирович Плюснин, кандидат геолого-минералогических наук, научный консультант Департамента нефтегазового инжиниринга ПИНС Альметьевского Государственного Технологического университета «Высшая школа нефти», Россия, 423462, г. Альметьевск, ул. Советская, 186А; a.v.plyusnin@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2386-0287>

Елена Михайловна Томилина, старший преподаватель кафедры минералогии и петрографии Пермского Государственного национального исследовательского университета им. А.М. Горького, Россия, 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15; tomilinaelena.psu@yandex.ru

Евгения Сергеевна Рабцевич, кандидат химических наук, инженер-исследователь испытательного центра «Томский региональный центр коллективного пользования», Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия, 634050, Томск, пр. Ленина, 36; evgenia882-a@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9275-4453>

Илья Сергеевич Иванов, инженер I категории отдела минералогических исследований филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в г. Перми, Россия, 614000, г. Пермь, ул. Академика Королева, 21А; Ija.Ivanov@pnn.lukoil.com

Иван Валентинович Мякшин, инженер I категории отдела петрофизических исследований филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в г. Перми, Россия, 614000, г. Пермь, ул. Академика Королева, 21А; Ivan.Myakshin@pnn.lukoil.com

Александр Иванович Сулима, соискатель кафедры региональной и нефтегазовой геологии, Пермский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 614000, г. Пермь, ул. Букирева, 15; super.sulima2013@yandex.ru

Поступила в редакцию: 03.04.2024

Поступила после рецензирования: 14.07.2024

Принята к публикации: 24.01.2025

REFERENCES

1. *Resolution of the interdepartmental regional stratigraphic meeting on the Middle and Upper Paleozoic of the Russian Platform, with regional stratigraphic schemes. Devonian system.* Leningrad, VSEGEI Publ., 1990. 58 p. (In Russ.)
2. Sobolev N.N., Evdokimova I.O. *Devonian system. Resolutions of the Interdepartmental Stratigraphic Committee and its standing commissions. The state of knowledge of the stratigraphy of the Precambrian and Phanerozoic of Russia. Objectives for further research.* St Petersburg, VSEGEI Publ., 2008. pp. 52–60. (In Russ.)
3. Zvereva K.A., Kuznetsov Yu.I. Geophysical, lithologic-paleontological, characteristics and unification of the main marker horizons of the Devonian and Carboniferous deposits of the Perm Kama region. *New data on the geological structure and oil and gas content of the Perm Kama region. Tr. KF VNIGNI.* Perm, Perm book Publ. house, 1966. Vol. 57, pp. 225–232. (In Russ.)
4. Araslanova R.M. Stratigraphic distribution of spores in terrigenous Devonian deposits of the Perm Kama region. *Geology and oil and gas content of the north of the Ural-Volga region. Tr. VNIGNI Tr. KF VNIGNI.* Perm, Perm book Publ. house, 1966. Vol. 123, pp. 182–190. (In Russ.)
5. Lyashenko A.I. Stratigraphy of Devonian deposits of the Volga-Ural region. *Geol. oil and gas*, 1960, no. 2, pp. 20–24. (In Russ.)
6. Oil and gas bearing and promising complexes of the central and eastern regions of the Russian Platform. *Devonian deposits of the Volga-Ural oil and gas region. Tr. VNIGNI.* Leningrad, Nedra Publ., 1970. Vol. 2, no. 75, 272 p. (In Russ.)
7. Tikhomirov S.V. *Stages of Devonian sedimentation of the Russian Platform and general issues of the development and structure of the stratosphere.* Moscow, Nedra Publ., 1995. 445 p. (In Russ.)
8. Bagaev A.N. Givet sandstones in the north of the Perm region. *Oil and Gas Geology. Theory and practice*, 2012, vol. 7, no 1. (In Russ.) DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/1_2015 Available at: http://www.ngtp.ru/rub/4/14_2012.pdf (accessed 15 March 2024).
9. Mikryukov M.F., Timergazin K.R. New data on the stratigraphy and lithology of Devonian terrigenous deposits of the Bavlinsko-Tuymazinsky oil-bearing region. *Neft. household*, 1948, no. 9, pp. 43–53. (In Russ.)
10. *Stratigraphic Dictionary of the USSR. Cambrian, Ordovician, Silurian, Devonian.* Eds. I.E. Zanin, B K. Likharev. Leningrad, Nedra Publ., 1975. 622 p. (In Russ.)

11. Ziegler W., Sandberg C. The Late Devonian Standard Conodont Zonation. *Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg*, 1990. 115 p. DOI: <https://doi.org/10.1130/MEM127-p227>.
12. Ziegler W. *Taxonomy and phylogeny of Upper Devonian conodonts and their stratigraphic significance* Abh. Hess. L.-Amt Bodenf., 1962. 166 p. (In Germ.)
13. Ziegler W. Conodont stratigraphy of the European Devonian. *Geol. Soc. Amer. Mem*, 1971, vol. 127, pp. 227–284. DOI: <https://doi.org/10.1130/MEM127-p227>.
14. Fortunatova N.K., Shik S.M., Zaytseva E.L. *Unified subregional stratigraphic scheme of Upper Devonian deposits of the Volga-Ural subregion*. Moscow, FGBU «VNIGNI» Publ., 2018. 64 p. (In Russ.)
15. Tsyganko V.S. *Devonian of the western slope of the northern Urals and Pai-Khoi (stratigraphy, principles of division, correlation)*. Ekaterinburg, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 2011. 356 p. (In Russ.)
16. Fortunatova N.K., Zaytseva E.L., Kartseva O.A. The structure of the Devonian terrigenous complex and the position of the boundary of the Middle and Upper Devonian in the west of Tatarstan. *Bulletin of the MOIP. Geological department*, 2013, vol. 88, no. 2, pp. 22–49. (In Russ.)
17. Belousov A.K. Bauxites and diaspore-chamosite ores of the western slope of the Southern Urals. *Proceedings of the All-Union Research Institute of Mineral Raw Materials*, 1937, vol. 112, pp. 70–106. (In Russ.)
18. Araslanova R.M., Stashkova E.K. Zonal division based on spores of Lower Frasnian deposits and identification of the Timan horizon in sections of the Perm Kama region. *Geological study and use of subsoil: scientific-technical informational bulletin LLC Geoinformmark*, 2002, vol. 1, pp. 9–20. (In Russ.)
19. Bagaev A.N. Frasnian sandstones in the north of the Perm region. *Oil and Gas Geology. Theory and practice*, 2015, vol. 10, no. 1. (In Russ.) Available at: http://www.ngtp.ru/rub/4/1_2015.pdf (accessed 15 march 2024).
20. Stashkova E.K., Matyashov S.V., Panyaev A.V., Friks M.G., Titova G.I., Vilesov A.P., Potapov V.P., Akulova N.N., Bykova N.V., Batova I.S., Araslanova R.M., Stukova T.V. Geological results of drilling Shirokovskaya parametric well 1 (Perm region). *Geology, methods of search, exploration and assessment of deposits of fuel and energy raw materials*. Moscow, Geoinformmark Publ., 2004. 78 p. (In Russ.)
21. *Methodological recommendations for correlation of well sections*. Ed. by I.S. Gutman. Moscow, Nedra Publ., 2013. 112 p. (In Russ.)
22. *X-ray diffraction of the main types of rock-forming minerals (layered and framework silicates)*. Ed. by V.A. Frank-Kamenetsky. Leningrad, Nedra Publ., 1983. 359 p. (In Russ.)
23. *The Rietveld Method. International Union of Crystallography*. Ed. by R.A. Young. UK, Oxford University Press, 1993. 298 p. DOI: <https://doi.org/10.1002/crat.2170300412>.
24. Thomsen V. Basic fundamental parameters in X-ray fluorescence May Spectroscopy. *Springfield then Eugene then Duluth*, 2007, vol. 22, no. 5, pp. 46–50.
25. Logvinenko N.V. *Petrography of sedimentary rocks (with the basics of research methods)*. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1974. 400 p. (In Russ.)
26. Cox R., Lowe D.R.A. Conceptual review of regional-scale controls on the composition of clastic sediment and the co-evolution of continental blocks and their sedimentary cover. *Journal of Sedimentary Research*, 1995, vol. 1, pp. 1–12.
27. Pettijohn F.I., Potter P.E., Siever R. *Sand and sandstone*. New York, Springer, 1972. 618 p.
28. Boynton W.V. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. Ed. by P. Henderson. *Rare earth element geochemistr.* Elsevier, 1984, pp. 63–114. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-42148-7.50008-3>.
29. Bhatia M.R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *J. Geol.*, 1983, vol. 91, pp. 611–627. DOI: <http://dx.doi.org/10.1086/628815>.
30. Cullers R.L. Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA. *Chem Geol.*, 2002, vol. 191, pp. 305–327. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(02\)00133-X](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(02)00133-X).
31. Kutukov A.V., Chernyshev I.V. On the Givetian-Lower Frasnian deposits of the platform part of the Perm region. *Geological structure and oil and gas potential of the Volga-Ural region and adjacent areas: Tr. VNIGNI*, 1963, vol. 36, pp. 121–126. (In Russ.)
32. *400 million years of geological history of southern Eastern Europe*. Eds. N.V. Mezhelovsky, N.V. Morozov, A.M. Nikishin. Moscow, Geokart, GEOS Publ., 2005. 388 p. (In Russ.)
33. Selim S.S. Sedimentology and stratigraphic evolution of fluvial-tidal transition reservoirs: an outcrop analog for the hydrocarbon-bearing Bahariya Formation, Western Desert, Egypt. *Journal of Sedimentary Research*, 2023, vol. 93, no. 1, pp. 50–70.
34. Gama R.M.A., Costa K.B., Dos Reis D.E.S., Pereira E. Paleoenvironmental evolution of an Early Devonian section from Paraná Basin (South of Brazil) based on a multiproxy approach. *J. Sediment. Environ.*, 2022, vol. 7, pp. 111–123.
35. Bonev N., Chiaradia M., Moritz R. Strontium isotopes reveal Early Devonian to Middle Triassic carbonate sedimentation in the Sakar-Strandzha Zone, SE Bulgaria. *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)*, 2022, vol. 111, pp. 1307–1314.
36. Xia J., Zhong Z., Huang S., Luo C., Lou H., Chang H., Li X., Wei L. The proto-type basin and tectono-paleogeographic evolution of the Tarim basin in the Late Paleozoic. *Front. Earth Sci*, 2023, vol. 11, pp. 1–17.
37. Chen Wu, Jie Li, Zuza A.V., Haproff P.J., Xuanhua Chen, Lin Ding. Proterozoic–Phanerozoic tectonic evolution of the Qilian Shan and Eastern Kunlun Range, northern Tibet. *GSA Bulletin*, 2021, vol. 134, no. 9–10, pp. 2179–2205.
38. Waters J., Ausich W. *Gennaeocrinus tariatensis*, a new Emsian (Devonian) monobathrid crinoid from the Tarvagatay Terrane of Mongolia. *Journal of Paleontology*, 2022, vol. 96, no. 3, pp. 631–637.
39. Sulima A.I., Plyusnin A.V., Pleshkov L.D., Trubin Ya.S., Timofeev V.D. Structure and stages of development of the sedimentary basin of the northeast of the East European Platform in the Proterozoic and Paleozoic based on long-term observations of geological sections and studies of deep wells. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2021, vol. 332, no. 11, pp. 141–160. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/11/2928>.

40. Plyusnin A.V., Sulima A.I., Staroselets D.A., Tomilina E.M., Isaeva G.A., Afonin I.V., Fedotov I.S., Rabtsevich E.S., Bobrov D.M., Sergeev M.S. Sedimentation conditions, material composition and reconstruction of rocks of the feeding provinces of the Visean stage of the Bashkir arch (based on the results of studying a well core in the south of the Perm region). *Georesursy*, 2024, vol. 26 (1), pp. 52–70. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2024.1.5>

Information about the authors

Igor V. Afonin, Cand. Sc., Senior Researcher, National Research Tomsk State University, 36, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russian Federation; heaven05@list.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5942-6688>

Alexey V. Plyusnin, Cand. Sc., Scientific Consultant, Almeteyevsk State Technological University "Higher School of Oil", 186A, Sovetskaya street, Almeteyevsk, 423462, Russian Federation; a.v.plyusnin@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2386-0287>

Elena M. Tomilina, Senior Lecturer, Perm State National Research University, 15, Bukirev street, Perm, 614990, Russian Federation; tomilinaelena.psu@yandex.ru

Evgenia S. Rabtsevich, Cand. Sc., Research Engineer, National Research Tomsk State University, 36, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russian Federation; evgenia882-a@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9275-4453>

Ilya S. Ivanov, I Category Engineer, Branch of LUKOIL-Engineering LLC "PermNIPIneft" in Perm, 21A, Academician Korolev street, Perm, 614000, Russian Federation; Ilja.Ivanov@pnn.lukoil.com

Ivan V. Myakshin, I Category Engineer, Branch of LUKOIL-Engineering LLC "PermNIPIneft" in Perm, 21A, Academician Korolev street, Perm, 614000, Russian Federation; Ivan.Myakshin@pnn.lukoil.com

Alexander I. Sulima, Applicant, Perm State National Research University, 15, Bukirev street, Perm, 614990, Russian Federation; super.sulima2013@yandex.ru

Received: 03.04.2024

Revised: 14.07.2024

Accepted: 24.01.2025