

Научная статья

УДК 551.72, 550.4, 549.086, 551.72

DOI: 10.31084/2619-0087/2024-2-5

МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОРОД СТАРОПЕТРОВСКОЙ СВИТЫ ВЕРХНЕГО ВЕНДА В РАЗРЕЗЕ СКВАЖИНЫ 4 АСЛЫКУЛЬСКАЯ (ВОЛГО-УРАЛЬСКАЯ ОБЛАСТЬ)

С. А. Дьякова, Н. Д. Сергеева, Р. А. Гатауллин, Т. Р. Абдеев, М. Р. Лукманова

Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, г. Уфа, riphey@ufaras.ru

В статье рассмотрены особенности вещественного состава песчаников старопетровской свиты верхнего венда, вскрытых скважиной 4 Аслыкульская Волго-Уральской области. По результатам петрографических исследований псаммиты старопетровской свиты соответствуют песчаникам полевошпат-кварцевым, мезомикто-кварцевым, реже мономинеральным кварцевым и собственно аркозам и грауваккам полевошпат-кварцевым и кварц-полевошпатовым. Минеральный состав тяжелой фракции песчаников свидетельствует о доминировании в источниках сноса метаморфических пород, меньше пород кислого, основного и ультраосновного состава. Впервые для отложений старопетровской свиты, наряду с литолого-петрографическими методами изучения пород в шлифах и количественно-минералогическим анализом тяжелой фракции проб-протокочек, было проведено исследование методом растровой электронной микроскопии в аншлифах. Это позволило определить в песчаниках ранее не диагностируемые минералы редкоземельных элементов (монацит и ксенотим). Дополнительная информация о минеральном и геохимическом составе пород старопетровской свиты в дальнейшем будет использована при реконструкции состава пород питающих провинций и условий формирования осадочного бассейна в вендское время.

Ключевые слова: старопетровская свита, венд, Волго-Уральская область, минералогия, петрография, геохимия, электронная микроскопия

Благодарности: Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 24-27-00311.

Original article

MINERALOGICAL, PETROGRAPHIC AND GEOCHEMICAL FEATURES OF THE ROCKS OF THE UPPER VENDIAN STAROPETROVSKAYA FORMATION IN THE SECTION OF WELL 4 ASLYKUL (VOLGA-URALIAN AREA)

S. A. Dyakova, N. D. Sergeeva, R. A. Gataullin, T. R. Abdeev, M. R. Lukmanova

Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa, riphey@ufaras.ru

The article examines the features of the material composition of sandstones of the Staropetrovskaya Formation of the Upper Vendian, discovered in well 4 Aslykul in the Volga-Uralian area. According to the results of petrographic studies, the sandstones of the Staropetrovskaya Formation correspond to feldspathic-quartz, mesomicto-quartz, feldspathic-quartz greywackes and quartz-feldspathic greywackes,

Для цитирования: Дьякова С. А., Сергеева Н. Д., Гатауллин Р. А., Абдеев Т. Р., Лукманова М. Р. Минералого-петрографические и геохимические особенности пород старопетровской свиты верхнего венда в разрезе скважины 4 Аслыкульская (Волго-Уральская область) // Геологический вестник. 2024. № 2. С. 49–64. DOI: 10.31084/2619-0087/2024-2-5

For citation: Dyakova S. A., Sergeeva N. D., Gataullin R. A., Abdeev T. R., Lukmanova M. R. (2024) Mineralogical, petrographic and geochemical features of the rocks of the Upper Vendian Staropetrovskaya Formation in the section of well 4 Aslykul (Volga-Uralian area). *Geologicheskii vestnik*. 2024. No. 2. P. 49–64. DOI: 10.31084/2619-0087/2024-2-5

© С. А. Дьякова, Н. Д. Сергеева, Р. А. Гатауллин, Т. Р. Абдеев, М. Р. Лукманова, 2024

less frequently to monomineral quartz and arkoses proper. The mineral composition of the heavy fraction indicates the dominance of metamorphic rocks in the source area, with fewer rocks of felsic, basic and ultrabasic composition. For the first time, for deposits of the Staropetrovskaya Formation, along with lithological and petrographic methods for studying rocks in thin sections and quantitative and mineralogical analysis of the heavy fraction of crushed samples, a study was carried out using scanning electron microscopy in polished sections. This made it possible to identify rare earth element minerals (monazite and xenotime) in sandstones. Additional information on the mineral and geochemical composition of the rocks of the Staropetrovskaya Formation will be further used to reconstruct the composition of the feeding provinces and the conditions of the sedimentary basin in the Vendian time.

Keywords: Staropetrovskaya Formation, Vendian, Volga-Uralian area, mineralogy, petrography, geochemistry, electron microscopy

Acknowledgments: The work was supported by the Russian Science Foundation grant No. 24-27-00311.

Введение

Вендские отложения Волго-Уральской области (ВУО) развиты в пределах двух крупных впадин: Верхнекамской и Шкапово-Шиханской, разделенных Сарапульско-Яныбаевской седловиной. Особый интерес для изучения вызывает старопетровская свита каировской серии венда, так как еще в 1975 г. Н. П. Егоровой было указано на ее нефтидопроизводящие свойства (Литолого-петрографическая..., 1988ф). Затем в 1977 г. Н. А. Еременко и Г. П. Ованесов подтвердили выводы о нефтегазоматеринских свойствах шкаповской серии на основании палеогеографических условий (Закономерности..., 1977ф). Основные вопросы истории геологического развития Восточно-Европейской платформы в позднем венде рассматривались в работах Б. С. Соколова, Б. М. Келлера, Ю. Р. Беккера, Л. Ф. Солонцова, К. Р. Тимергазина, Е. М. Аксенова, В. И. Козлова, Н. Д. Сергеевой, Л. Д. Ожигановой, В. А. Романова, М. В. Ишерской и других. Вопросами нефтегазоносности вендских отложений занимались С. Г. Морозов, Н. С. Лагутенкова, И. Е. Постникова, Т. В. Иванова, Т. В. Карасева. Исследование вендских микрофоссилий было проведено И. К. Чепиковой [1971]. Анализ петрохимических особенностей терригенных пород венда выполнен в работах А. В. Маслова [2010, 2011].

Впервые старопетровская свита была выделена Л. Ф. Солонцовым в 1963 г. со стратотипом в скважине 5 Старопетровская в интервале глубин 2270–2434 м [Солонцов, 1963]. Свита представлена переслаиванием темно-серых и темно-зеленых гидрослюдистых аргиллитов, зеленовато-серых кварц-полевошпатовых и полевошпат-кварцевых алевролитов и песчаников, местами с глауконитом. Для пород свиты характерна микрослоистая и тонкослоистая текстуры флишеидного типа [Лозин, 2015].

Старопетровская свита согласно залегает на отложениях байкибашевской свиты, перекрывается породами шкаповской серии или девона [Ожиганова, 1960; Тимергазин, 1959]. Общая мощность свиты Волго-Уральской области достигает 465 м [Стратиграфическая схема, 2000]. Мощность свиты постепенно увеличивается от склонов Волго-Камского массива и Сарапульско-Красноуфимской седловины к осевой зоне впадины от первых метров до 220–400 м [Вендская система, 1985].

Целью данной работы является изучение особенностей минералого-петрографического и геохимического состава терригенных отложений старопетровской свиты на примере разреза скважины 4 Аслыкульская. Литолого-петрографические и минералогические исследования отложений проведены с целью уточнения существующих представлений об источниках сноса (о составе пород в области питания и ее местоположении) и обстановках формирования рассматриваемых отложений в регионе.

В статье использованы образцы керна пород старопетровской свиты каировской серии верхнего венда, вскрытые скважиной 4 Аслыкульская (Шкапово-Шиханская впадина). Выбор объекта исследования обусловлен тем обстоятельством, что породы старопетровской свиты пользуются наиболее широким распространением среди всего комплекса осадков верхнего венда ВУО и содержат многочисленные нефтегазопроявления. А в связи с тем, что получение керна связано с некоторыми трудностями, так как значительная часть утрачена в силу разных причин: сокращение глубокого бурения в конце 90-х годов привело к ликвидации части управлений буровых работ и существовавших при них кернохранилищ. Особую ценность в этой ситуации представляют коллекционные материалы керна скважин, отобранные исследователями в 70–90 годы прошлого века, когда шло интен-

сивное бурение скважин в Волго-Уральском нефтегазоносном бассейне.

Материалы и методы

Образцы керна песчаников, алевролитов и аргиллитов по скважине 4 Аслыкульская отобраны из коллекции Н. Д. Сергеевой и В. И. Козлова (коллекция хранится в ИГ УФИЦ РАН, г. Уфа). Основными методами лабораторных исследований образцов были петрографический, минералогический, геохимический и электронно-микроскопический.

Петрографический анализ пород проведен с помощью метода оптической микроскопии на поляризационном микроскопе МИН-8. Кроме того в статье использованы петрографические материалы тематических исследований Лаборатории геотектоники и региональной геологии Института геологии УФИЦ РАН, выполненные под руководством В. И. Козлова (Козлов и др., 1985ф, 2008ф). Петрографическое описание пород старопетровской свиты дано на основе 25 шлифов.

Минералогический анализ, одним из основных методов которого является метод тяжелых фракций (искусственных шлихов), полученных из проб-протолок песчаников, алевролитов и гравелитов. Этот метод основан на выделении акцессорных минералов из раздробленных пород и включает специальные приемы сепарации и обогащения. Принципы метода известны давно и широко применяются для исследования как осадочных, так и магматических и метаморфических пород [Преображенский, Саркисян, 1954; Кухаренко, 1961].

Геохимические исследования включали в себя определение содержаний петрогенных оксидов и ряда элементов-примесей (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 общ., MnO , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , S общ., P_2O_5 , V , Cr , Co , Ni , Cu , Zn , As , Rb , Sr , Y , Zr , Ba , Pb) в порошковых пробах с помощью рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) на спектрометре Xenometrix модели X-Calibur (Израиль), (Ag-анод, 15–50 кВ, 60–1000 мА), аналитик Юлдашбаева В. Ф. Предел обнаружения петрогенных оксидов 0.01–0.2 мас. %, редких элементов — 5–10 г/т (ИГ УФИЦ РАН, г. Уфа).

Электронно-микроскопическое изучение состава минералов проведено в аншлифах (3 образца с глубин 2598.4, 2621.5 и 2626.0 м) на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega 4 Compact с энерго-дисперсионным анализатором Xplorer 15 Oxford Instruments (ИГ УФИЦ РАН, Уфа).

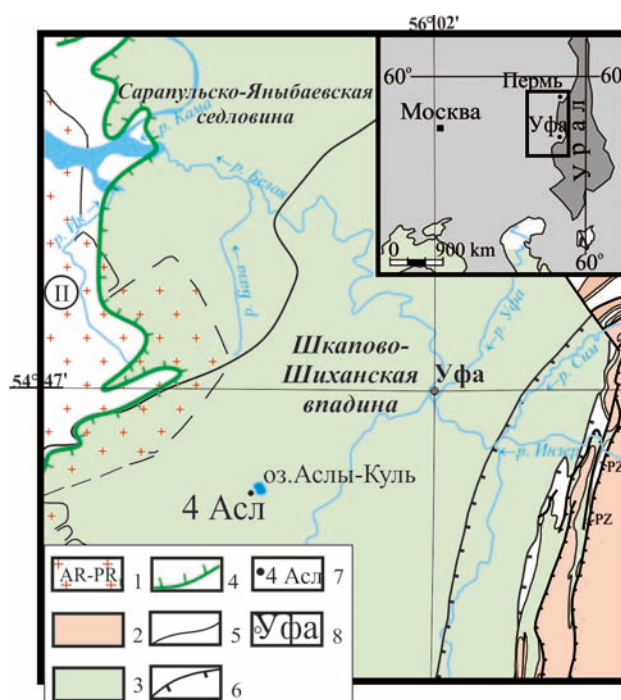


Рис. 1. Обзорная карта распространения вендских отложений в пределах Волго-Уральской области, по [Башкова и др., 2011; Козлова и др., 2020]

Условные обозначения: 1–3 – отложения: 1 – архея – раннего протерозоя, 2 – рифея, 3 – венда; 4–6 – границы: 4 – распространения вендских отложений, 5 – стратиграфические, 6 – тектонические; 7 – местоположение скважины; 8 – населенные пункты.

Fig. 1. Overview map of the distribution of Vendian deposits within the Volga-Uralian area, according to [Bashkova et al., 2011; Kozlova et al., 2020]

Legend: 1–3 – deposits: 1 – Archean – Early Proterozoic, 2 – Riphean, 3 – Vendian; 4–6 – boundaries: 4 – distribution of Vendian deposits, 5 – stratigraphic, 6 – tectonic; 7 – location of wells; 8 – settlements.

Геологическая характеристика объекта исследования

Параметрическая скважина 4 Аслыкульская расположена в районе оз. Аслы-Куль, в 110 км юго-западнее г. Уфы (рис. 1). Скважина пробурена в своде Бурангуловского сейсмического поднятия, выявленного методом ОГТ сейсмопартией «Башнефтегеофизика». При стратиграфической интерпретации разреза скважины использована Стратиграфическая схема рифейских и вендских отложений Волго-Уральской области [2000], но с дополнениями и изменениями [Сергеева и др., 2021].

Отложения старопетровской свиты в разрезе скважины 4 Аслыкульская (рис. 2) выделены в интервале глубин 2550–2725 м и представлены аргиллитами зеленовато-серыми, темно-серыми до черных, тонкослоистыми, тонкоплитчатыми, часто слюдистыми с переменной примесью (от 2 – 3 до 35 – 40%) алевритового, реже псаммитового материала.

Подчинены прослои светло-серых алевролитов и песчаников полевошпат-кварцевого, аркозового и полимиктового состава. Наблюдаемая в породах слоистость — параллельная, слабо волнистая, интервалами линзовидно-слоистая — обусловлена присутствием тонких (от долей мм до 1 – 1.5 – 5 см) серых и светло-серых прослоев алевролитов, реже песчаников. В основании разреза свиты присутствуют часто выклинивающиеся прослои (мощностью от 0.3 до 0.8 см) серых и буровато-серых песчаников, содержащих единичные полуокатанные зерна гравийной размерности (0.2 см). Мощность свиты в скважине 4 Аслыкульская — 175 м.

Петрографическая характеристика

В результате петрографических исследований уточнен вещественный состав и текстурно-структурные признаки пород. Отложения старопетровской свиты по составу неоднородные.

Глинистые и слюдисто-глинистые аргиллиты в основании свиты часто алевритистые (от 5 до 25%) или алевритовые (30 – 35%). Структура пород бластопелитовая или алевро (алеверитисто) бластопелитовая. Состав основной ткани хлоритовый, хлорит-гидрослюдистый и реже — гидрослюдистый. Основная ткань слегка замутнена лейкоксеном и рудным минералом, часто содержит включения (от редких знаков до 3 – 5, реже до 10%) ожелезненного, реже гидратизированного глауконита в виде «сыпи» и «крапа» (размерностью от 0.01 – 0.02 до 0.05 – 0.06 мм). Часто в глинистых прослойках присутствует примесь (от 3 – 5 до 10 – 12%) гидратированных светло-коричневых тонких листочков (0.2 – 0.3 см) биотита, часто замещенного хлоритом, иногда лейкоксенизированным рудным минералом или окислами (гидроокислами) железа. Примесь алевритовых, реже псаммитовых зерен (от 0.02 до 0.05 мм и реже до 0.07 – 0.1 мм) представлена большей частью кварцем, реже зернами кислого плагиоклаза, глинизированными сильно корродированными цементом. Аллотигенные зерна обычно растащены и неравномерно разобщены глинистым цементом.

Полевошпат-кварцевые песчаники в нижней части свиты тонкослоистые с псаммитовой, в отдельных прослойках с алевритовой или алевропсаммитовой структурами. Песчаники тонко-, реже мелкозернистые и вверх по разрезу постепенно переходят от плохо сортированных до хорошо сортированных разностей. Аллотигенные зерна изометричные, таблитчатые, овальные и сглаженно-угловатые, окатанные и полуокатанные. Состав песчаников Na-полевошпат-кварцевый, реже слюдисто-полевошпат-кварцевый. Содержание кварца в них составляет 80 – 88%, кислого плагиоклаза (обычно слабо пелитизированного, неравномерно глинизированного, иногда замещенного хлоритом) — от 10 – 12 до 15 – 16%, присутствует светло-коричневый биотит, часто замещенный хлоритом и реже псевдоморфно замещенный рудным минералом от 2 – 5 до 7 – 8% и глауконит, обычно замещенный железистым минералом от редких зерен до 1 – 3%. Отмечаются редкие лейкоксенизированные зерна сфена, рутила и ильменита, единичные зерна селадонита, циркона, граната и турмалина, а также литокласты кварцевого алевролита, сростков кварца, кварца с полевым шпатом.

Полимиктовые песчаники разнозернистые (тонко- и мелкозернистые), хорошо сортированные. Аллотигенные зерна округлой, овальной, таблитчатой, призматической формы, состоят из кварца (35 – 40%), кислого плагиоклаза (22 – 25%), микроклина (1 – 3%), обломков пород, в основном вулканогенных (25 – 28%), редких литокластов кремней и кварцевых алевролитов, листочков гидратизированного биотита — от редких зерен до 1 – 3%, присутствуют лейкоксенизированные титанистые минералы (сфен, рутил, титанит, ильменит), магнетит, часто окисленный, сростки кварца, кварца с плагиоклазом или плагиоклаза с эпидотом, изометричные голубовато-зеленые листочки слюды, эпидота, единичные зерна граната и циркона.

Алевролиты имеют слюдисто-Na-полевошпат-кварцевый состав. Породы средне- и крупнозернистые, плохо и среднесортированные, с высоким содержанием плагиоклаза (13 – 18%) и обломочных слюд (от 5 – 7% до 12 – 15%). У контакта со слюдисто-глинистыми аргиллитами отмечаются тонкие слойки, обогащенные минералами тяжелой фракции (в основном лейкоксенизированными титанистыми минералами, с примесью магнетита и единичных зерен циркона, граната, редко турмалина). В верхней части разреза в алевролитах отмечается постепенное увеличение

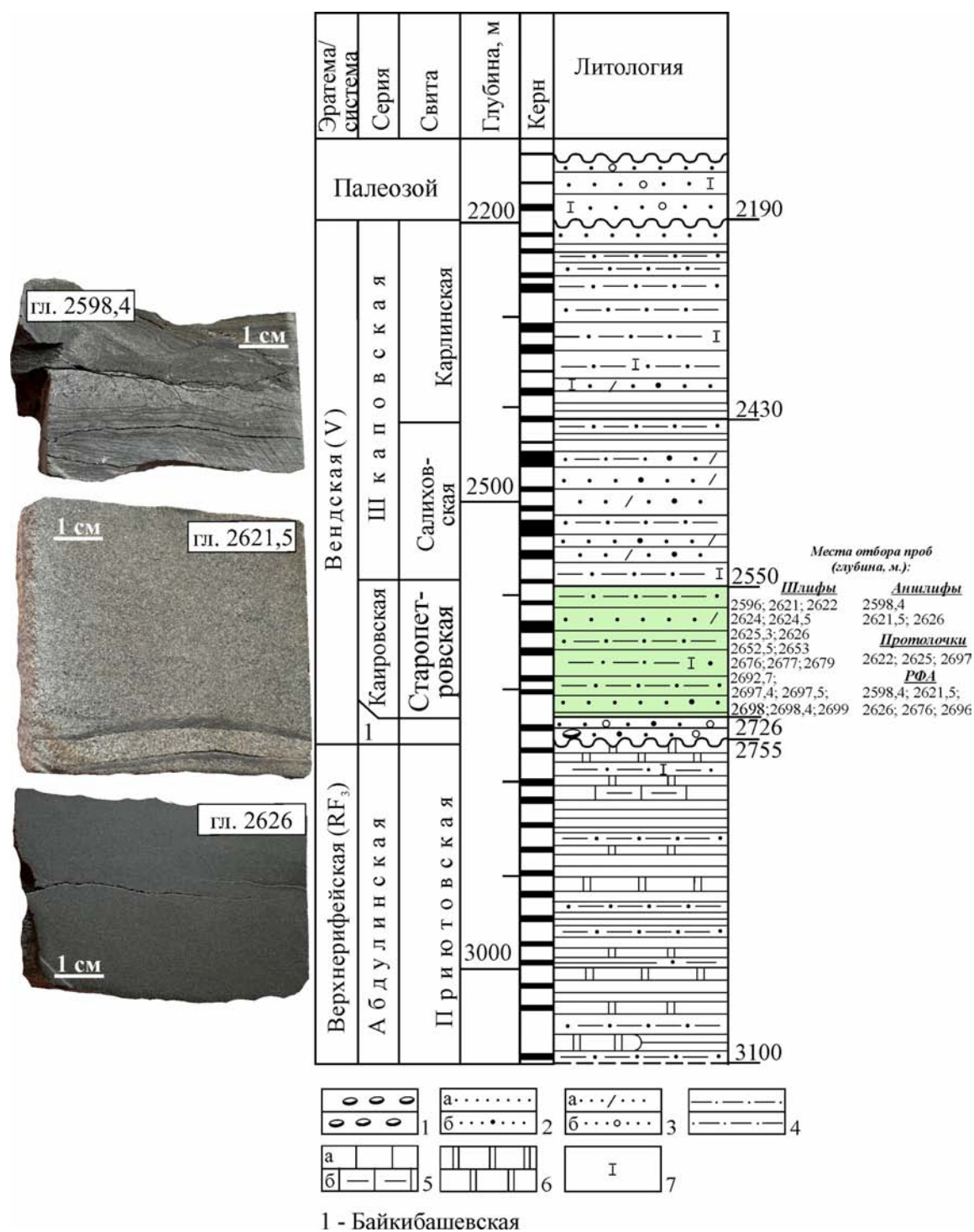


Рис. 2. Фрагмент разреза верхнедокембрийских отложений по скважине 4 Аслыкульская, по [Козлов, 2011; Сергеева и др., 2021]

Условные обозначения: 1 – конгломераты; 2–3 – песчаники: 2 – кварцевые (а) и полевошпат-кварцевые (б); 3 – полимиктовые (а) и гравийные (б); 4 – алевролиты; 5 – известняки кристаллические (а) и глинистые (б); 6 – доломиты; 7 – кальцитизация.

Fig. 2. Fragment of the section of Upper Precambrian deposits along well 4 Aslykul, according to [Kozlov, 2011; Sergeeva et al., 2021]

Legend: 1 – conglomerates; 2–3 – sandstones: 2 – quartz (a) and feldspar-quartz (b); 3 – polymictic (a) and gravel (b); 4 – siltstones; 5 – crystalline limestones (a) and clay (b); 6 – dolomites; 7 – calcification.

полевых шпатов и снижения глинистого цемента (от 30–40 до 10–12%). Переход полевошпат-кварцевых алевролитов и песчаников в полимиктовые разности резкий.

На основе данных минералогического состава песчаников старопетровской свиты венда Волго-Уральской области построена классификационная QFL-диаграмма В. Д. Шутова [1972] (рис. 3).

Фигуративные точки состава песчаников старопетровской свиты в основном сосредоточены в полях полевошпат-кварцевых, мезомикто-кварцевых, полевошпат-кварцевых граувакк и кварц-полевошпатовых граувакк. Единичные фигуративные точки попали в области мономинеральных кварцевых разностей и собственно аркозов (рис. 3).

Минералогическая характеристика

Результаты количественно-минералогического анализа искусственных шлихов песчаников старопетровской свиты в разрезе скважины 4 Аслыкульская приведены в таблице 1, где шлиховые минералы по генетическому признаку подразделены на кластогенные и аутигенные. Содержание минералов в пробе выражено в граммах на тонну (г/т). Как следует из таблицы, в составе тяжелой фракции песчаников преобладают минералы-спутники метаморфических пород (гранат, лейкоксен, рутил, анатаз), а также пород кислого состава — циркон, группа слюд, апатит, турмалин. В подчиненном количестве присутствуют минералы-спутники пород основного и ультраосновного состава (магнетит, ильменит, хромшпинелиды, ильменито-рутил). Из аутигенных минералов значительным содержанием выделяются хлорит, пирит, гематит, лимонит. Хотя охарактеризованы отложения малым количеством минералогических проб, они дают некоторые общие представления о составе пород питающих провинций.

Среди минералов тяжелой фракции в песчаниках старопетровской свиты в скважине 4 Аслыкульская особую роль играют циркон, апатит, турмалин, рутил и гранат. Эти минералы составляют значительную часть тяжелой фракции и обладают характерными типоморфными признаками.

Гранат представлен угловатыми обломками неправильной формы со ступенчатым рельефом граней. Иногда зерна могут иметь скелетные облик. Окраска граната чаще розовая с красноватым или лиловым оттенками, единично встречаются темно-розовые разности. Размер зерен варьирует от 0.1*0.1–0.15*0.15 мм до 0.27*0.5 мм.

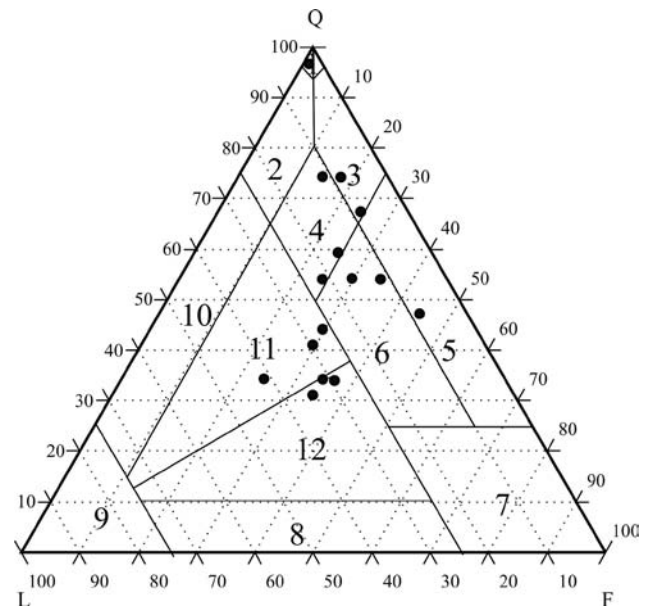


Рис. 3. Классификационная диаграмма [Шутов, 1972] с нанесенными на нее фигуративными точками минерального состава песчаников старопетровской свиты

Условные обозначения: – Q – кварц, F – полевые шпаты, L – литокласты; 1 – мономинеральные кварцевые, 2 – кремнекластито-кварцевые, 3 – полевошпат-кварцевые, 4 – мезомиктовые, 5 – собственно аркозовые, 6 – граувакковые аркозы, 7 – поле пород не терригенного происхождения, 8 – полевошпатовые граувакки, 9 – собственно граувакки, 10 – кварцевые граувакки, 11 – полевошпатово-кварцевые граувакки, 12 – кварцево-полевошпатовые граувакки.

Fig. 3. Classification diagram [Shutov, 1972] with the data points of sandstones of mineral composition of the Staropetrovskaya formation

Legend for: Q – quartz, F – feldspars, L – rock fragments; 1 – monomineral quartz, 2 – siliciclastic-quartz, 3 – feldspar-quartz, 4 – mesomictic, 5 – arkose proper, 6 – greywacke arkoses, 7 – the field of rocks are not of terrigenous origin, 8 – feldspar greywackes, 9 – greywacke proper, 10 – quartz greywackes, 11 – feldspar-quartz greywackes, 12 – quartz-feldspar greywackes.

Циркон наблюдается в виде хорошо окатанных зерен, реже кристаллов цирконового и копьевидного облика, но со сглаженными ребрами. Цвет цирконов бледно-розовый, почти бесцветный. Размеры 0.015*0.1 мм — 0.075*0.15 мм. 0.1*0.1 мм.

Апатит встречается в виде хорошо окатанных бесцветных зерен или кристаллов со сглаженными ребрами. Размеры 0.015*0.075 мм — 0.1*0.2 мм.

Рутил представлен окатанными и полуокатанными зернами вытянутой или неправильной формы. Окраска чаще темно коричневая с красноватым оттенком, редко встречаются черные разности. Размеры 0.01*0.01 мм, 0.1*0.25 мм, 0.15–0.25 мм.

Турмалин присутствует в виде хорошо окатанных зерен и реже кристаллов, окраска минерала коричневая. Размеры от 0.1*0.25 до 0.15*0.15 мм.

Основные акцессорные минералы образуют в породах старопетровской свиты верхнего венда существенно — гранатовую ассоциацию. Основным источником кластики, исходя из значительного содержания граната и эпидота, послужили метаморфические породы, меньше породы кислого, основного и ультраосновного состава.

Вендский период ознаменован развитием и сменой палеогеографических обстановок в пределах Восточно-Европейской платформы. Формирование осадков старопетровской свиты, по мнению Е. М. Аксенова [Вендская система, 1985], происходило в мелководно — морских условиях, о чем свидетельствуют текстурные особенности пород (присутствие тонкой горизонтальной, слабоболнистой и косо́й слоистости) и аутигенная минерализация (наличие глауконита, гидрослюд, барита, гематит). Наличие гематита исследователи связывают с переносом в осадочный бассейн эоловым путем пеплового материала, богатого железом, фосфором, свинцом и другими микроэлементами. При этом в некоторых участках морского дна,

куда не поступал грубый терригенный материал, существовали застойные условия со слабым гидродинамическим режимом, где происходило накопление осадков с повышенным содержанием аутигенного пирита.

Геохимические особенности

Современные геохимические исследования осадочных пород, включающие определение содержания основных породообразующих оксидов и редких элементов, дополняют информацию о характере источников сноса и позволяют провести реконструкцию геодинамических обстановок, что может быть использовано в комплексе с другими данными при интерпретации петрофонда в области сноса. Первые результаты определения петрохимических особенностей песчаников старопетровской свиты венда скважины 4 Аслыкульская, опубликованные А. В. Масловым [2011], основаны на небольшом интервале опробования с глубин 2620–2625 м.

Таблица 1 Содержание (г/т) минералов тяжелой фракции в отложениях старопетровской свиты (скв. 4 Аслыкульская)

Table 1 Content (g/t) of heavy fraction minerals in sediments of the Staropetrovskaya formation (well 4 Aslykul)

Глубина, м	2622	2625	2697	Среднее значение
<i>Минералы кластогенные</i>				
Циркон	6	9	203	73
Апатит	8	9	+	6
Турмалин	+	+	+	+
Группа слюд	238	44	1667	650
Магнетит	-	-	+	+
Хромшпинелиды	+	+	-	+
Рутил	2	2	14	6
Ана́таз (брукит)	3	+	+	1
Лейкоксен	32	2	+	11
Ильмено-рутил	-	-	28	9
Группа граната	127	208	2713	1016
Эпидот	-	-	268	89
<i>Аутигенные</i>				
Пирит (марказит)	+	+	28	9
Глауконит	+	+	+	+
Хлорит	-	308	-	103
Гематит (мартит)	+	+	14	7

Примечание: (+) – минерал присутствует как редкие зерна.
Note: (+) – the mineral is present as rare grains.

Таблица 2. Содержание породообразующих оксидов и редких элементов в песчаниках старопетровской свиты, скважина 4 Аслыкульская (мас. %)
Table 2. The content of rock-forming and rare elements in the sandstones of the Staropetrovskaya formation, well 4 Aslykul (mas. %)

Компонент	Глубина, м				
	2598.4	2621.5	2626	2676	2696
SiO ₂	63.355	69.232	63.816	62.219	57.216
TiO ₂	0.762	0.504	0.845	0.834	1.248
Al ₂ O ₃	17.240	14.973	16.510	15.817	15.275
Fe ₂ O ₃ общ	5.183	4.024	6.840	6.569	7.929
MnO	0.131	0.071	0.058	0.079	0.099
CaO	1.866	1.877	0.653	2.069	1.520
MgO	2.218	1.549	2.420	2.853	3.175
Na ₂ O	1.843	2.518	1.672	2.002	2.682
K ₂ O	3.253	1.718	2.839	2.058	2.511
P ₂ O ₅	<0.0402	<0.0402	0.163	0.088	0.110
S _{общ}	0.148	0.136	0.447	0.881	1.903
ППП	4.112	3.587	4.382	4.548	6.599
V	0.0103	0.0036	0.0127	0.0094	0.0203
Cr	0.0089	0.0044	0.0086	0.0098	0.0208
Co	0.0019	0.0011	0.0029	0.0032	-
Ni	0.0045	0.0036	0.0056	0.0047	0.0050
Cu	0.0034	0.0038	0.0091	0.0029	0.0027
Zn	0.0095	0.0082	0.01	0.0085	0.0084
Rb	0.0121	0.0067	0.0108	0.0068	0.0067
Sr	0.0135	0.0101	0.0107	0.0194	0.0203
Y	0.0032	0.0019	0.0031	0.0021	-
Zr	0.0239	0.0141	0.0204	0.0258	0.0790
Nb	0.0016	0.0011	0.0017	0.0012	-
Ba	0.0332	0.0163	0.042	0.0388	0.0672
Pb	0.0016	0.001	0.001	0.0017	0.0014
La	0.0075	0.0039	0.0033	0.0038	-
Ce	0.0063	0.0051	0.0051	0.006	-
Сумма	100.111	100.189	100.642	100.016	100.266

Примечание. Прочерк – нет данных.

Note. Dash – no data.

В данной работе геохимические особенности песчаников охарактеризованы на основе 5 химических анализов породообразующих оксидов и редких элементов, все расчеты по породообразующим оксидам здесь и ниже даются в мас. % (табл. 2). Содержание оксидов варьирует в широких пределах: $\text{SiO}_2 = 57.2\text{--}69.2$, $\text{Fe}_2\text{O}_3_{\text{общ}} = 4.0\text{--}6.8$, $\text{MgO} = 1.5\text{--}2.8$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 14.5\text{--}17.2$, $\text{Na}_2\text{O} = 1.5\text{--}3.8$, $\text{K}_2\text{O} = 1.7\text{--}2.89$ мас.%.
 На классификационной диаграмме [Pettijohn et al., 1972], разделяющей основные типы песчаников по химическому составу, фигуративные точки песчаников старопетровской свиты расположены в полях граувакк и литаренитов (рис. 4А).

Для определения климатических обстановок в области сноса и степени зрелости осадочных пород в работе использованы петрохимические индексы: CIA — индекс химического изменения пород питающей провинции [Nesbitt, Young, 1982], ICV — индекс зрелости осадков [Cox, Lowe, 1995]. Индекс CIA вычисляется по формуле $(\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})) \times 100$ и применяется в качестве показателя степени выветривания пород в области размыва. Значение CIA = 70 разделяет отложения, испытавшие незначительное влияние процессов химического выветривания (CIA < 70), от отложений, претерпевших существенное химическое выветривание (CIA > 70). Индекс ICV служит индикатором степени зрелости поступающего материала. О низкой степени зрелости,

т. е. быстром захоронении и коротком расстоянии переноса обломочного материала, говорят значения $\text{ICV} > 1$, предполагающие сохранность таких глинистых породообразующих минералов, как полевые шпаты, амфиболы, пироксены и т. д. Более зрелые осадочные породы, состоящие в основном из глинистых минералов, имеют значение $\text{ICV} < 1$.

Песчаники старопетровской свиты исходя из полученных значений индексов, имеют интенсивную степень выветривания пород питающей провинции и, как результат, формирование зрелых осадков (см. рис. 4Б). Одна из фигуративных точек (образец с гл. 2696) попала в область незрелых осадков. Можно предположить, что это связано с близостью к подстилающим отложениям байкибашевской свиты, сложенным аркозовыми песчаниками, отражающими незрелость осадков. Нахождение таких песчаников в основании старопетровской свиты служит свидетельством о постепенном переходе между свитами.

Применение растровой электронной микроскопии (РЭМ) позволило не только уточнить химический состав и кристаллохимические особенности основных (породообразующих кластогенных и аутигенных) и акцессорных минералов, но и обнаружить минералы, ранее не отмечавшиеся в отложениях старопетровской свиты венда. В их числе барит и минералы редкоземельных элементов (монацит и ксенотим).

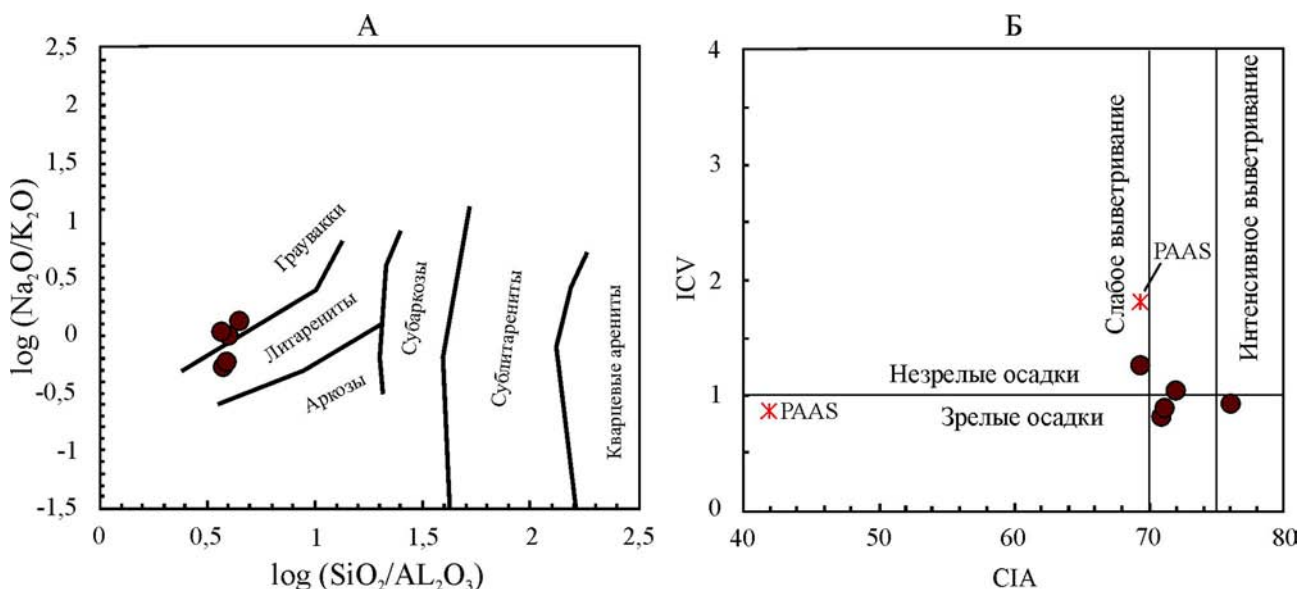


Рис. 4. Классификационная диаграмма для песчаников (А) по [Pettijohn et al., 1972] и диаграмма CIA-ICV (Б) по [Cox, Lowe, 1995; Nesbitt, Young, 1982]

Fig. 4. Classification diagram for sandstones (A) according to [Pettijohn et al., 1972] and CIA-ICV diagram (B) according to [Cox, Lowe, 1995; Nesbitt, Young, 1982]

Основные породообразующие минералы включают кварц, плагиоклаз и калиевый полевой шпат (рис. 5). Минералы группы плагиоклаза представлены альбитом, в качестве примесей в котором отмечены кальций (0.53 мас. %) и железо (0.35 мас. %). Среди минералов группы калиевых полевых шпатов присутствует ортоклаз (табл. 3).

Аутигенные минералы представлены Феллоритом, пиритом и баритом (см. табл. 3).

Пирит встречается в виде стяжений, имеющих округлую шаровидную форму и заполняющих

разуплотненные зоны породы (трещины) или наблюдается в виде точечных обособлений на зернах хлорита (см. рис. 5).

Для барита характерно заполнение межзерновых пространств, свидетельствующее о более позднем времени образования барита в песчаниках. (см. рис. 5).

Минералы редкоземельных элементов и РЗЭ-содержащие представляют особый интерес. Среди них установлены — циркон, ксенотим и монацит (рис. 6).

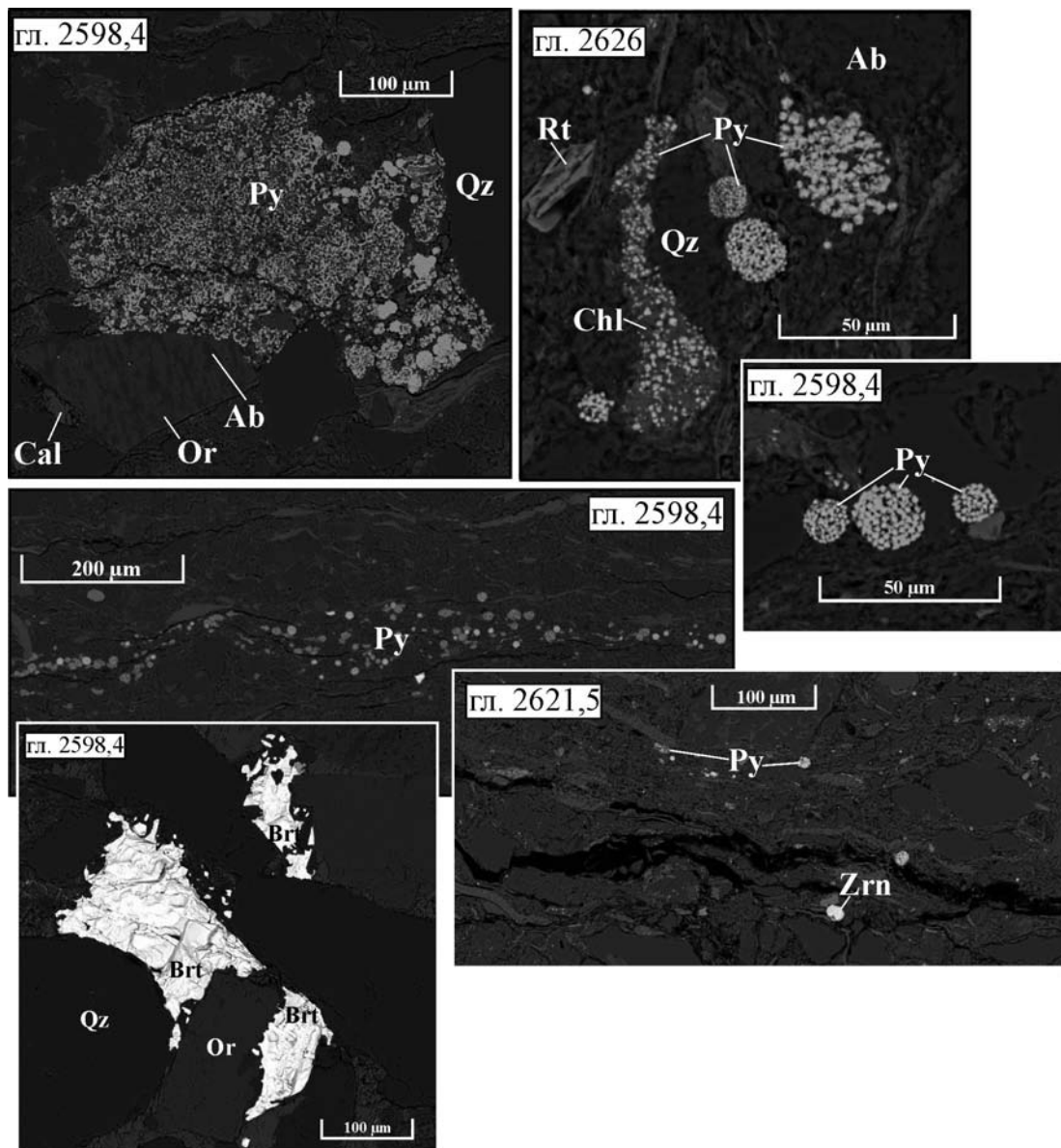


Рис. 5. Основные кластогенные и аутигенные минералы в песчаниках старопетровской свиты (РЭМ)
Ab – альбит, Brt – барит, Cal – кальцит, Chl – хлорит, Or – ортоклаз, Py – пирит, Qz – кварц, Rt – рутил, Zrn – циркон.

Fig. 5. Main clastogenic and authigenic minerals in sandstones of the Staropetrovskaya Formation (SEM)
Ab – albite, Brt – barite, Cal – calcite, Chl – chlorite, Or – orthoclase, Py – pyrite, Qz – quartz, Rt – rutile, Zrn – zircon.

Таблица 3. Химический состав основных породообразующих и вторичных минералов в песчаниках старопетровской свиты (мас. %)

Table 3. Chemical composition of the main rock-forming and secondary minerals in the sandstones of the Staropetrovskaya Formation (wt%)

№ п/п	1	2	3	4	5
Na ₂ O	10.78	K ₂ O	16.02	FeO	30.07
K ₂ O	0.13	Na ₂ O	0.54	MgO	9.17
CaO	0.64	BaO	0.77	K ₂ O	1.12
FeO	0.18	FeO	0.19	CaO	0.17
SiO ₂	68.43	SiO ₂	64.67	TiO ₂	0.99
Al ₂ O ₃	19.79	Al ₂ O ₃	18.80	MnO	0.24
Сумма	99.95	Сумма	100.99	SiO ₂	27.82
				Al ₂ O ₃	17.84
				H ₂ O	12.58
				Сумма	100

1. Na_{0.974}K_{0.003}Ca_{0.018}Fe_{0.005}(Al_{0.254}Si_{0.746})₄O₈ альбит
 2. K_{0.942}Na_{0.048}Ba_{0.007}Fe_{0.006}(Al_{0.255}Si_{0.745})₄O₈ ортоклаз
 3. (Fe_{0.6}Mg_{0.326}K_{0.035}Ca_{0.046}Ti_{0.018}Mn_{0.004})₅Al(Si_{0.712}Al_{0.288})₄O₁₀(OH, O)₈ хлорит
 4. Fe_{0.991}Ni_{0.03}S_{2.006} пирит
 5. Ba_{0.995}Sr_{0.005}SO₄ барит

Таблица 4. Химический состав (мас. %) цирконов из песчаников старопетровской свиты
Table 4. Chemical composition (wt %) zircons from sandstones of the Staropetrovskaya Formation

№ п/п	SiO ₂	FeO	ZrO ₂	HfO ₂	Nb ₂ O ₅	Сумма
1.	32.05	-	67.1	1.45	-	100.60
2.	30.85	-	63.78	2.05	1.69	98.37
3.	32.5	0.25	63.54	1.35	1.75	99.39

1. Zr_{1.021}Hf_{0.013}SiO₄ циркон
 2. Zr_{1.008}Hf_{0.019}Nb_{0.025}SiO₄ циркон
 3. Zr_{0.954}Hf_{0.012}Fe_{0.007}Nb_{0.025}SiO₄ циркон

Таблица 5. Химический состав (мас. %) монацита и ксенотима в песчаниках старопетровской свиты
Table 5. Chemical composition (mas. wt %) monazite and xenotima in the sandstones of the Staropetrovskaya Formation

№	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	CaO	FeO	La ₂ O ₃	Ce ₂ O ₃	Pr ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	PbO ₂	ThO ₂	Сумма
1.	-	1.05	29.26	0.81	-	7.63	26.71	3.72	15.87	2.73	2	-	8.62	98.39
2.	0.39	3.2	18.57	0.64	0.64	13.03	24.47	2.47	8.07	1.36	0.74	0.93	13.1	87.6
3.	0.59	4.67	26.59	0.84	0.48	13.44	24.71	2.47	8.16	1.48	0.85	1.39	14.34	100
	SiO ₂	P ₂ O ₅	CaO	Sc ₂ O ₃	FeO	Y ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Dy ₂ O ₃	Ho ₂ O ₃	Er ₂ O ₃	Tm ₂ O ₃	Yb ₂ O ₃	Lu ₂ O ₃	Всего
4.	1.41	32.4	-	-	0.46	45.75	1.9	4.71	1.08	4.95	0.75	5.34	0.71	99.46
5.	2.98	32.13	0.38	0.19	1.11	43.91	1.45	4.29	1.15	4.58	0.69	5.18	-	98.02

1. Ce_{0.401}La_{0.115}Pr_{0.055}Nd_{0.232}Sm_{0.038}Gd_{0.027}Th_{0.08}Ca_{0.036}[P_{1.015}O₄] монацит
 2. Ce_{0.461}La_{0.247}Pr_{0.046}Nd_{0.148}Sm_{0.024}Gd_{0.013}Pb_{0.013}Th_{0.153}Ca_{0.035}Al_{0.023}[P_{0.808}O₄] монацит
 3. Ce_{0.387}La_{0.212}Pr_{0.038}Nd_{0.125}Sm_{0.022}Gd_{0.012}Pb_{0.016}Th_{0.14}Ca_{0.039}Al_{0.03}[P_{0.963}O₄] монацит
 4. Y_{0.835}Gd_{0.022}Dy_{0.052}Ho_{0.012}Er_{0.053}Tm_{0.008}Yb_{0.056}Lu_{0.007}[P_{0.941}O₄] ксенотим
 5. Y_{0.813}Gd_{0.017}Dy_{0.048}Ho_{0.012}Er_{0.05}Tm_{0.007}Yb_{0.055}Sc_{0.006}Ca_{0.0014}[P_{0.946}O₄] ксенотим

Циркон встречается в виде округлых зерен или кристаллов со сглаженными гранями. Необходимо отметить довольно крупные размеры зерен (до 100 мкм). В большинстве цирконов в изображении РЭМ наблюдаются следы изменений и деформаций, выраженные в повышенной трещиноватости, в нарушенной прерывистой первичной зональности роста. Для некоторых зерен обнаружена внутрифазовая неоднородность, представленная ритмичной зональностью (см. рис. 6, гл. 2598.4). Для всех цирконов характерно значительное количество гафния (от 0.69 до 2.05 мас. %) и ниобия (до 1.75 мас. %), в редких случаях отмечаются скандий, иттербий, гадолиний, диспрозий, эрбий.

Впервые установленными минералами-концентраторами легких редкоземельных элементов в отложениях старопетровской свиты являются Се-монацит, а тяжелых — У-ксенотим (рис. 7, табл. 5). Размеры зерен этих минералов варьируют от 5 – 10 мкм до 50 мкм. Предположительно, источником РЗЭ-минералов могли послужить размывающиеся комплексы пород кристаллического фундамента (Татарский свод).

Из числа *рудных минералов* в песчаниках старопетровской свиты установлен сфалерит (рис. 8), усредненная формула которого — $Zn_{0.94}Fe_{0.02}S$. Различные формы выделения сфалерита, заполняющего межзерновые пространства, свидетельствуют о его эпигенетическом образовании.

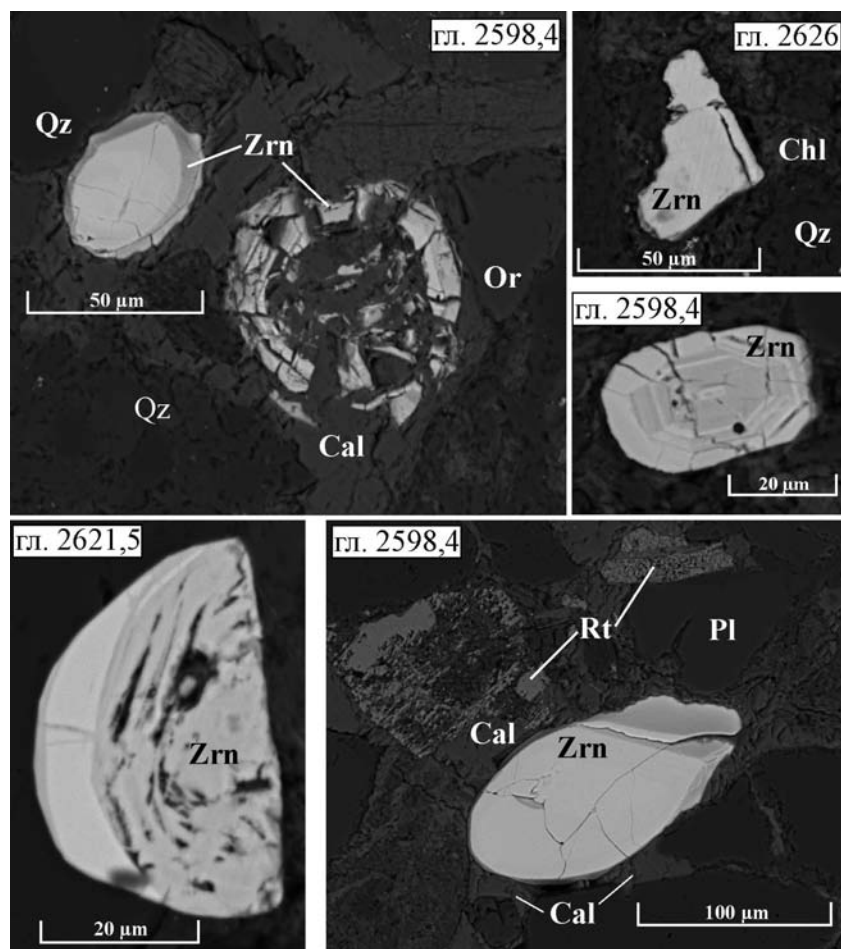


Рис. 6. Морфология зерен циркона в песчаниках старопетровской свиты (РЭМ)

Cal – кальцит, Chl – хлорит, Or – ортоклаз, Pl – плагиоклаз, Qz – кварц, Rt – рутил, Zrn – циркон.

Fig. 6. Morphology of zircon grains in sandstones of the Staropetrovskaya Formation (SEM)

Cal – calcite, Chl – chlorite, Or – orthoclase, Pl – plagioclase, Qz – quartz, Rt – rutile, Zrn – zircon.

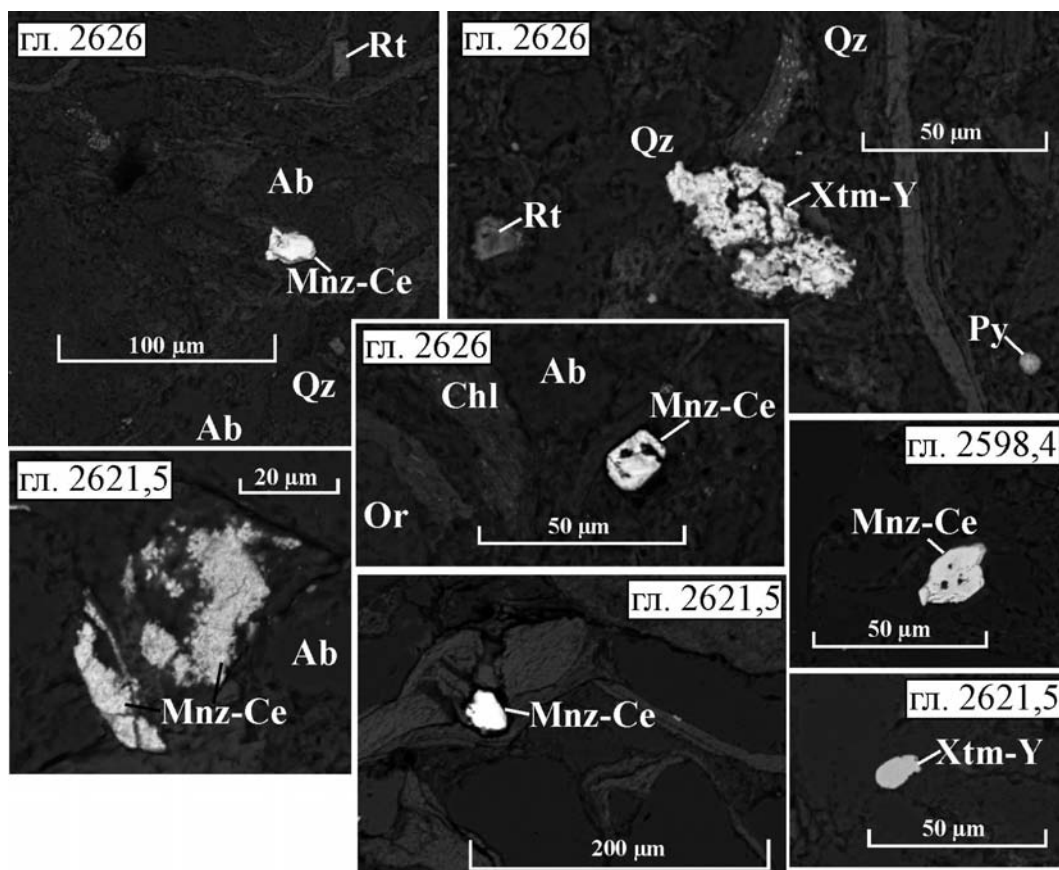


Рис. 7. Монацит и ксенотим в песчаниках старопетровской свиты (РЭМ)

Ab – альбит, Chl – хлорит, Or – ортоклаз, Mnz-Ce – монацит цериевый, Py – пирит, Qz – кварц, Rt – рутил, Xtm-Y – ксенотим иттриевый.

Fig. 7. Monazite and xenotime in sandstones of the Staropetrovskaya Formation (SEM)

Ab – albite, Chl – chlorite, Or – orthoclase, Mnz-Ce – Ce-monazite, Py – pyrite, Qz – quartz, Rt – rutile, Xtm-Y – Y-xenotime.

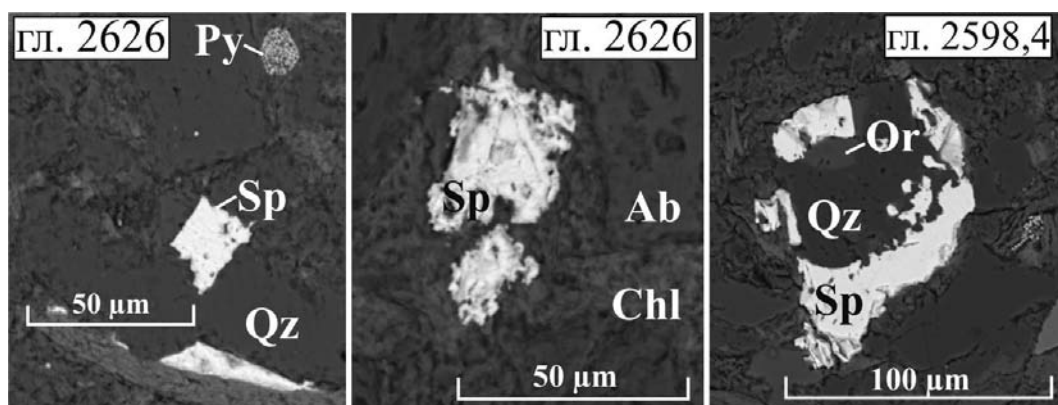


Рис. 8. Формы выделения сфалерита в песчаниках старопетровской свиты

Ab – альбит, Or – ортоклаз, Py – пирит, Qz – кварц, Sp – сфалерит. Примечание: гл. 2626 – кристалл сфалерита и замещение хлорита сфалеритом; гл. 2598,4 – структуры облекания.

Fig. 8. Forms of sphalerite in sandstones of the Staropetrovskaya Formation

Ab – albite, Or – orthoclase, Py – pyrite, Qz – quartz, Sp – sphalerite. Note: d. 2626 – sphalerite crystal and replacement of chlorite with sphalerite; d. 2598.4 – clothing structures.

Заключение

Таким образом, в рамках данной работы рассмотрены особенности минерало-петрографического и геохимического состава терригенных отложений старопетровской свиты на примере разреза скважины 4 Аслыкульская.

По результатам описания петрографических шлифов уточнен вещественный состав и текстурно-структурные признаки пород. Отложения старопетровской свиты по составу неоднородны и сложены песчаниками, алевролитами и аргиллитами. Полученные сведения по минеральному составу песчаников позволили выделить среди них полевошпат-кварцевые, мезомикто-кварцевые, единичные мономинеральные кварцевые разности и собственно аркозы, а также полевошпат-кварцевые и кварц-полевошпатовые граувакки (см. рис 3) [Шутов, 1972].

Согласно минералогическим исследованиям искусственных шлифов проб-протоколов песчаников установлена существенно — гранатовая ассоциация. Основным источником кластики, исходя из значительного содержания граната, послужили метаморфические породы, меньше породы кислого, основного и ультраосновного состава.

По химическому составу (РФА) на классификационной диаграмме [Pettijohn et al., 1972], разделяющей основные типы песчаников по химическому составу, выделены граувакки и литарениты. Для определения климатических обстановок в области сноса и степени зрелости осадочных пород использованы петрохимические индексы CIA (индекс химического изменения) и ICSV (индекс степени зрелости поступающего материала) [Nesbitt, Young, 1982; Cox, Lowe, 1995]. Песчаники старопетровской свиты имеют высокую степень выветривания пород питающей провинции ($CIA > 70$), и, как результат, формирование зрелых осадков (значение $ICSV < 1$) в вендском палеобассейне (см. рис. 4).

Для песчаников старопетровской свиты были впервые проведены электронно-микроскопические исследования пороодообразующих, вторичных и акцессорных минералов: уточнен химический состав и кристаллохимические особенности. В песчаниках старопетровской свиты венда обнаружены собственные минералы редкоземельных элементов (монацит и ксенотим). При этом основным минералом-концентратором легких редкоземельных элементов является Се- монацит, а тяжелых — Y-ксенотим, а также циркон.

Полученные результаты позволили получить дополнительную информацию о минералогическом составе песчаников и возможном составе пород и степени выветривания отложений в питающей провинции. Но для реконструкции палеобассейна в вендское время необходимо дальнейшее изучение вендских отложений с использованием современных методов исследования.

Список литературы:

- Башкова С. Е., Субботина Н. Б., Карасева Т. В.* Закономерности строения рифейских и вендских отложений Волго-Уральского нефтегазоносного бассейна // Вестник Пермского университета. 2011. Вып. 3. С. 8–17.
- Вендская система. Историко-геологическое и палеонтологическое обоснование. Т. 2. Стратиграфия и геологические процессы. М.: Наука, 1985. 237 с.
- Кухаренко А. А.* Минералогия россыпей. М.: Гостехиздат. 1961. 316 с.
- Козлов В. И., Сергеева Н. Д.* Верхний протерозой Волго-Уральской области. Стратиграфия и особенности состава // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов АН РБ. 2011. № 17. С. 58–80.
- Козлова О. В., Солодова С. А., Ратов А. А.* Новые данные минералогических исследований отложений старопетровской свиты венда в разрезе глубокой скважины 40 Красноусольская (Предуральский краевой прогиб) // Геологический вестник. 2020. № 3. С. 68–75. DOI: 10.31084/2619-0087/2020-3-5
- Лозин Е. В.* Геология и нефтеносность Башкортостана. Уфа: БашНИПИнефть, 2015. 704 с.
- Маслов А. В.* Некоторые петрохимические особенности песчаников рифея и венда платформенного Башкортостана // Материалы конференции «Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий». Уфа: ДизайнПолиграфСервис. 2010. С. 42–45.
- Маслов А. В.* Песчаники верхнего докембрия платформенного Башкортостана: основные черты формирования по литогеохимическим данным // Вестник Пермского университета. Геология. 2011. Вып. 1 (10). С. 6–17.
- Маслов А. В., Ишерская М. В., Крупенин М. Т., Петрищева В. Г., Гуляева Т. Я., Горбунова Н. П.* Литогеохимические особенности тонкозернистых терригенных пород рифея Камско-Бельского авлакогена и условия их формирования // Литология и полезные ископаемые. 2010. № 2. С. 192–223.
- Ожиганова Л. Д.* Петрографо-Минералогические исследования древних отложений Западной Башкирии // Древние отложения Западной Башкирии. Уфа. М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1960. С. 28–87.
- Преображенский И. А., Саркисян С. Г.* Минералы осадочных пород (применительно к изучению нефтеносных отложений). М.: Гостехиздат, 1954. 462 с.

Сергеева Н.Д., Пучков В.Н., Карасева Т.В. Верхний протерозой (рифей и венд) Волго-Уральской области в параметрических и глубоких скважинах. Уфа: КнигаПринт, 2021. 196 с.

Солонцов Л.Ф. к вопросу о пересмотре стратиграфической схемы отложений позднего докембрия центральных и восточных областей Русской платформы // Изв. Казанского филиала АН СССР. Геология. 1963. № 10. С. 130–143.

Стратиграфическая схема рифейских и вендских отложений Волго-Уральской области. Объяснительная записка / Составители Е.М. Аксенов, В.И. Козлов. Уфа. ИГ УНЦ РАН, 2000. 81 с. + схема 2 л.

Тимергазин К.Р. Додевонские образования Западной Башкирии и перспективы их нефтегазоносности. Уфа. ГГИ БФАН СССР, 1959. 311 с.

Чепикова И.К. К вопросу о стратиграфическом положении верхнебавлинских отложений Волго-Уральской области // Доклады Академии наук. 1971. Т. 197, № 3. С. 671–673.

Шутов В.Д. Классификация песчаников // Литология и полезные ископаемые. 1967. № 5. С. 86–102.

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. V. 1. P. 1–12.

Nesbitt H.W., Young G.M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // Nature. 1982. V. 299. P. 715–717.

Pettijohn F.J., Potter P.E., Siever R. Sand and sandstone. Springer, Berlin Heidelberg New York. 1972. 553 p.

References:

Bashkova S.E., Subbotina N.B., Karaseva T.V. (2011) Regularities of the structure of the Riphean and Vendian deposits of the Volga-Uralian oil and gas basin. Vestnik Permskogo universiteta. Perm University Bulletin, (3), 8–17. (In Russian).

Vendian system. Historical, geological and paleontological justification. T. 2. Stratigraphy and geological processes. M.: Nauka, 1985. 237 p. (In Russian).

Kuharenko A. A. (1961) Mineralogiya rossypei [Mineralogy of placers]. M.: Gosgeolizdat, 316 p. (In Russian).

Kozlov V.I., Sergeeva N.D. (2011) Upper Proterozoic of the Volga-Uralian region. Stratigraphy and compositional features. Geologiya. Izvestiya Otdeleniya nauk o Zemle i prirodnym resursov AN RB — Geology. Bulletin of the Department of Earth Sciences and Natural Resources of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan. (17), 58–80. (In Russian).

Kozlova O.V., Solodova S.A., Ratov A.A. (2020) Novye dannye mineralogicheskikh issledovaniy otlozhenii staropetrovskoi svity venda v razreze glubokoi skvazhiny 40 Krasnousol'skaya (Predural'skii kraevoi progib) [New data from mineralogical studies of the Vendian Staropetrovsk Formation in the section of 40 Krasnousol'sk deep well

(Preuralian Foredeep)]. Geologicheskii vestnik. 3, 68–75. DOI: 10.31084/2619–0087/2020-3-5 (In Russian).

Lozin E.V. (2015) Geology and oil content of Bashkortostan. Ufa: BashNIPIneft. 704 p. (In Russian).

Maslov A.V. (2010) Nekotorye petrokhimicheskie osobennosti peschanikov rifeya i venda platformennogo Bashkortostana [Some petrochemical features of Riphean and Vendian sandstones of platform Bashkortostan]. Proceedings of the conference “Geology, minerals and problems of geoecology of Bashkortostan, the Urals and adjacent territories”. Ufa: DizaynPoligrafServis. 2010. 42–45. (In Russian).

Maslov A.V. (2011) Peschaniki verkhnego dokembriya platformennogo Bashkortostana: osnovnye cherty formirovaniya po litogeokhimicheskim dannym [Sandstones of the Upper Precambrian of platform Bashkortostan: main features of formation according to lithochemical data]. Bulletin of Perm University. Geology. 1 (10), 6–17. (In Russian).

Maslov A.V., Isherskaya M.V., Krupenin M.T., Petrishcheva V.G., Gulyaeva T.Ya., Gorbunova N.P. (2010) Litogeokhimicheskie osobennosti tonkozernistykh terrigenykh porod rifeya Kamsko-Bel'skogo avlakogena i usloviya ikh formirovaniya [Lithochemical features of fine-grained terrigenous rocks of the Riphean Kama-Belsky aulacogen and the conditions of their formation]. Lithology and mineral resources. 2, 192–223. (In Russian).

Ozhiganova L.D. (1960) Petrographic-Mineralogical studies of ancient deposits of Western Bashkiria // Ancient deposits of Western Bashkiria. M.: AN SSSR Publ. P. 28–87. (In Russian).

Preobrazhenskii I.A., Sarkisyan S.G. Mineraly osadochnykh porod (primenitel'no k izucheniyu neftenosnykh otlozhenii) [Minerals of sedimentary rocks (applied to study of oil-bearing deposits)]. M.: Gostoptehizdat, 1954. 462 p. (In Russian).

Sergeeva N.D., Puchkov V.N., Karaseva T.V. (2021) Verkhniy proterozoi (rifei i vend) Volgo-Ural'skoi oblasti v parametricheskikh i glubokikh skvazhinakh [Upper Proterozoic (Riphean and Vendian) of the Volga-Ural region in parametric and deep wells]. Ufa: KnigaPrint, 196 p. (In Russian).

Solontsov L.F. (1963) K voprosu o peresmotre stratigraficheskoi skhemy otlozhenii pozdnego dokembriya tsentral'nykh i vostochnykh oblastei Russkoi platformy [On the issue of revising the stratigraphic scheme of Late Precambrian deposits in the central and eastern regions of the Russian Platform]. Izv. Kazan branch of the USSR Academy of Sciences. Geology. 10, 130–143. (In Russian).

Stratigraphic scheme of Riphean and Vendian deposits of the Volga-Ural region: Explanatory note / Compiled by E.M. Aksenov, V.I. Kozlov. IG UNZ RAN, Ufa. 2000. 81 p. + diagram 2. (In Russian).

Timergazin K.R. (1959) Dodevonskiye obrazovaniya Zapadnoy Bashkirii i perspektivy ikh neftegazonosnosti [Pre-Devonian formations of Western Bashkiria and prospects for their oil and gas potential]. GGI BФАН СССР. Ufa. 311 p.

Чепикова И.К. (1971) On the question of the stratigraphic position of the Upper Bavlinsky deposits of the Volga-Ural region // Reports of the Academy of Sciences. T. 197 (3), pp. 671–673. (In Russian).

Shutov V. D. (1967) Klassifikatsiya peschanikov [Classification of sandstones]. Lithology and mineral resources. 5, 86–102. (In Russian).

Cox R., Lowe D. R. (1995) 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, 1, 1–12.

Nesbitt H. W., Young G. M. (1982) Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // Nature, 299, P. 715–717.

Pettijohn F. J., Potter P. E., Siever R. (1972) Sand and sandstone. Springer, Berlin Heidelberg New York. 553 p.

Сведения об авторах:

Дьякова Светлана Андреевна, младший научный сотрудник, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. Solodova.IG@yandex.ru

Сергеева Нина Дмитриевна, ведущий научный сотрудник, канд. геол.-минер. наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), Россия, г. Уфа. riphey@ufaras.ru

Гатауллин Руслан Азатович, младший научный сотрудник, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа, rusgatln97@gmail.ru

Абдеев Тимур Ринатович, лаборант-исследователь, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа, timurr.abdeev@gmail.com

Лукманова Милана Рустамовна, Кафедра геологии, гидрометеорологии и геоэкологии Института природы и человека, Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа, milanalove310504@gmail.com

About the authors:

Dyakova Svetlana Andreevna, junior researcher, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. Solodova.IG@yandex.ru

Sergeeva Nina Dmitrievna, leading Researcher, candidate of geological and mineralogical sciences, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Russia, Ufa. riphey@ufaras.ru

Gataullin Ruslan Azatovich, junior researcher, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa, rusgatln97@gmail.ru

Abdeev Timur Rinatovich, laboratory research assistant, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa, timurr.abdeev@gmail.com

Lukmanova Milana Rustamovna, Department of Geology, Hydrometeorology and Geoecology, Institute of Nature and Man, Ufa University of Science and Technology, Ufa, milanalove310504@gmail.com

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 04.06.2024; одобрена после рецензирования 05.06.2024; принята к публикации 22.07.2024.

The article was submitted 04.06.2024; approved after reviewing 05.06.2024; accepted for publication 22.07.2024.