

**КАЛИЕВЫЕ ПОЛЕВЫЕ ШПАТЫ В ДОЛОМИТАХ ТИПОВОГО
РАЗРЕЗА РЕВЕТСКОЙ ПОДСВИТЫ В РАЙОНЕ Д. РЕВЕТЬ
(АВЗЯНСКАЯ СВИТА СРЕДНЕГО РИФЕЯ, ЮЖНЫЙ УРАЛ)**

© Мичурин Сергей Васильевич, © Марданшина Регина Равилевна,
© Самигуллин Айдар Альфридович, © Казбулатова Гульфия Мавлетовна
Институт геологии

ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр
Российской Академии наук»,
г. Уфа, Российская Федерация

Аннотация. На основании рентгенофлуоресцентного анализа и ИК-спектроскопии рассмотрены минералогические и геохимические особенности доломитов в типовом разрезе на левом берегу р. Малый Инзер реветской подсвиты авзянской свиты, завершающей юрматинскую серию среднего рифея на западном склоне Южного Урала. В породах установлены выше кларковые в 6–8 раз средние содержания Ва и Rb, которые имеют наиболее сильные положительные геохимические связи с калиевым полевым шпатом. Среднее содержание этого минерала в доломитах составляет 3.4 ± 3.1 мас. %, в нерастворимых минеральных остатках – 37.6 ± 19.9 отн. %. Стратиграфически по мере приближения к аркозовым песчаникам бирьянской подсвиты зильмердакской свиты, залегающей в основании каратауской серии верхнего рифея, в реветской подсвите наблюдается выраженное увеличение в доломитах как количественного содержания калиевых полевых шпатов до ~6–10 мас. %, так и их относительной доли в составе детритовой фракции до ~48–63 отн. %. Данные ИК-спектроскопии свидетельствуют о том, что в осадочных породах обоих стратиграфических уровней на границе между юрматинием и каратавием детритовые калиевые полевые шпаты представлены преимущественно сходными максимально упорядоченными микроклинами. Установленные минералогические и геохимические данные свидетельствуют, вероятнее всего, о единой питающей провинции обломочным материалом при осадконакоплении в реветское и бирьянское время, роль которой увеличивалась постепенно.

Ключевые слова: доломиты, калиевые полевые шпаты, максимально упорядоченный микроклин, реветская подсвита, авзянская свита

**POTASSIUM FELDSPARS IN THE DOLOMITES OF THE TYPICAL
SECTION OF THE REVET SUB-FORMATION NEAR THE VILLAGE OF
REKET (AVZYAN FORMATION OF THE MIDDLE RIPHEAN, SOUTHERN
URALS)**

© Michurin Sergey Vasilyevich, © Mardanshina Regina Ravilevna,
© Samigullin Aidar Alfridovich, © Kazbulatova Gulfiya Mavletovna

Для цитирования: Мичурин С.В., Марданшина Р.Р., Самигуллин А.А., Казбулатова Г.М. Калиевые полевые шпаты в доломитах типового разреза реветской подсвиты в районе д. Реветь (авзянская свита среднего рифея, Южный Урал)// Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов. 2026. № 2. С. 48-71. DOI 10.24412/2949-4052-2026-2-48-71

Summary. Based on X-ray fluorescence analysis and IR spectroscopy, the mineralogical and geochemical features of dolomites in a typical section on the left bank of the Maly Inzer River in the Revet sub-formation of the Avzyan Formation, which completes the Yurmatau series of the Middle Riphean on the western slope of the Southern Urals, have been studied. The rocks have been found to have higher than average concentrations of Ba and Rb, which have the strongest positive geochemical associations with potassium feldspar. The average content of this mineral in dolomites is 3.4 ± 3.1 wt. %, and in insoluble mineral residues it is 37.6 ± 19.9 rel. %. Stratigraphically, as we approach the arkose sandstones of the Biryan sub-formation of the Zilmerdak Formation, which lies at the base of the Karatau Series of the Upper Riphean, there is a pronounced increase in the content of potassium feldspars in dolomites to $\sim 6\text{--}10$ wt. %, as well as their relative proportion in the detritus fraction, up to $\sim 48\text{--}63$ rel. %. The IR spectroscopy data indicate that in the sedimentary rocks of both stratigraphic levels at the boundary between the Yurmatau and Karatau series, detrital potassium feldspars are predominantly represented by similar, maximally ordered microclines. The established mineralogical and geochemical data suggest that there was a single source of clastic material during sedimentation in the Revet and Biryan periods, and its role gradually increased.

Keywords: dolomites, potassium feldspar, maximally ordered microcline, Revet sub-formation, Avzyan Formation

Введение. Авзянская свита на западном склоне Южного Урала – одно из наиболее интересных подразделений разреза рифея, как с седиментологической и палеогеографической, так и с металлогенической точек зрения [1–9]. Мощность свиты составляет около 2000 м, из которых более двух третей приходится на долю карбонатных пород, преимущественно доломитов и в меньшей степени известняков. Реветская подсвита является одним из верхних литостратиграфических подразделений авзянской свиты [10]. Характерной особенностью отложений подсвиты является присутствие в них кремнистых образований (стяжений, конкреций, линз) [11].

Породы авзянской свиты являются рудовмещающими для многих полезных ископаемых (железа, полиметаллов, магнезита, барита и др.) [8]. Их формирование связывают с разгрузкой нагретых элизионных катагенетических растворов и относят к гидротермально-метасоматическим литогенным образованиям [3–7, 9, 12]. Недавно проведенное геохимическое и кристаллохимическое изучение доломитов на разных стратиграфических уровнях авзянской свиты подтверждает, что осадочные породы катаскинской, реветской и тюльменской подсвит локально подвержены интенсивным эпигенетическим преобразованиям, обусловленным воздействием на породы Fe- и Mn-содержащих средне- и высокотемпературных постмагматических или катагенетических флюидов [13–15]. В последнее время обосновывается термально-рассольное формирование рифейских Mg-Fe карбонатных руд, в том числе приуроченных к авзянской свите, с участием рассольного флюида эвапоритовой природы, претерпевшим катагенетическую эволюцию [12, 16].

В карбонатах авзянской свиты фиксируются повышенные в несколько раз против кларка концентрации Li и максимальные содержания MgO в известняках по сравнению с средне- и позднерифейскими свитами западного склона Южного Урала, что может быть обусловлено сходными с эвапоритовыми условиями седиментации в авзянское время [17–19]. Накопление осадочных отложений свиты происходило в позднем мезопротерозое во время перестройки изотопного углеродного цикла Земли и наименее затронутые эпигенетическими процессами доломиты и известняки свиты сохранили первичный C-изотопный сигнал, что используется для глобальных хемотратиграфических построений [20]. Кроме того, авзянская свита завершает юрматинскую серию среднего рифея, которая граничит с бирьянской подсвитой зильмердакской свиты, залегающей в основании каратауской серии верхнего рифея. Характер границы между отложениями этих серий сложный, отражающий предзильмердакский перерыв в осадконакоплении, который предположительно мог являться очень длительным и привести к существенному изменению состава питающих провинций [21, 22]. Все перечисленные факторы заставляют исследователей более внимательно подходить к анализу большого круга вопросов, связанных с изучением авзянской свиты [7].

Настоящая статья является продолжением исследований пород свиты с целью выявления их типоморфных характеристик. Ранее нами получены ИК-спектры калиевых полевых шпатов (КПШ) из доломитов реветской подсвиты авзянской свиты и из аркозовых песчаников бирьянской подсвиты зильмердакской свиты [23, 24]. В последних также изучены рентгеновские дифракционные особенности [25]. Полученные результаты свидетельствуют о том, что в обломочной фракции осадочных пород обоих стратиграфических уровней КПШ преимущественно представлены минералогически сходными максимально упорядоченными микроклинами. В целом это может указывать на слабую трансформацию источников сноса рассматриваемого временного интервала. Однако в упомянутой работе [24] были проанализированы только единичные образцы доломитов реветской подсвиты из разреза авзянской свиты в пос. Верхний Авзян. С целью уточнения высказанного предположения на большем материале в настоящем сообщении анализируются данные по обломочной фракции доломитов реветской подсвиты из ее типового разреза на р. Малый Инзер.

Стратиграфия и литология авзянской свиты. На западном склоне Южного Урала отложения среднерифейской юрматинской серии широко распространены на крыльях Башкирского мегантиклинория и в стратотипическом разрезе расчленены на 4 свиты: вулканогенную и вулканогенно-осадочную машакскую (мощность 2500–3100 м), песчаниковую зигальгинскую (250–400 м), терригенную зигазино-комаровскую (1000–1200 м) и терригенно-карбонатную авзянскую (1500–2000 м) (рис. 1) [10].

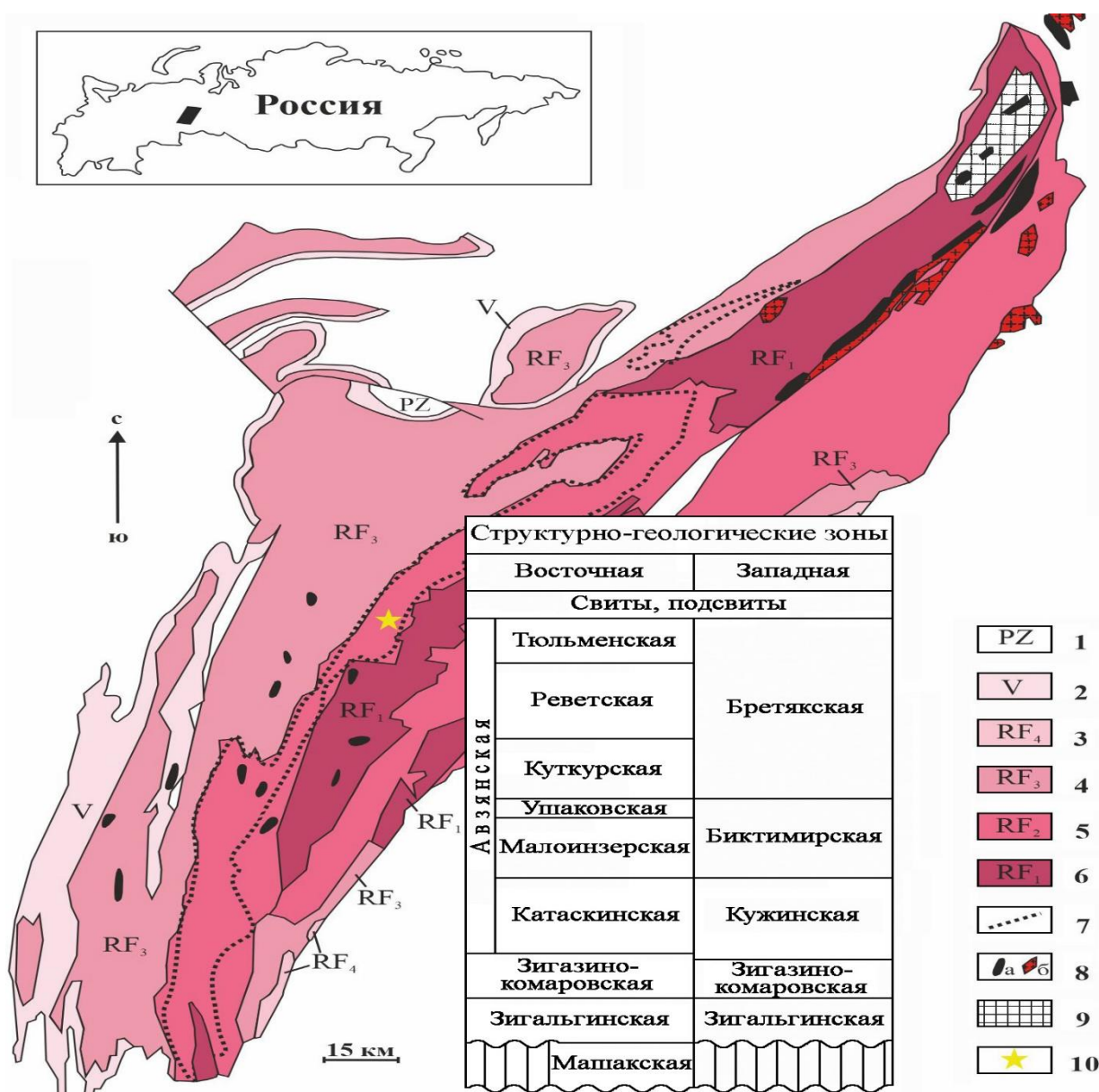


Рисунок 1 – Авзыанская свита и положение типового разреза реветской подсвиты на схематической геологической карте Башкирского мегантиклинория, корреляция стратиграфических подразделений юрматинской серии среднего рифея, по [2, 7, 26] с дополнениями и изменениями

где: 1 – палеозой, 2 – венд, 3–6 – рифей: 3 – терминальный, 4 – верхний, 5 – средний, 6 – нижний, 7 – контур распространения неметаморфизованных отложений авзыанской свиты, 8 – магматические породы: габродолериты (а) и граниты (б), 9 – тараташский метаморфический комплекс (AR–PR₁), 10 – положение стратотипического разреза реветской подсвиты авзыанской свиты

Возрастной интервал отложений юрматиния составляет в 1400 – 1030 млн лет [26]. Для отложений авзыанской свиты пока нет точного определения времени накопления, а имеющиеся датировки 1226 млн лет (К-Ag данные по глаукониту [10]) и ~1270 млн лет (данные хеостратиграфии [20]) признаются не надежными [21, 27].

Авзянская свита расчленена на 6 подсвит (снизу вверх): катаскинскую, малоинзерскую, ушаковскую, куткурскую, реветскую и тюльменскую [10]. Катаскинская подсвита (мощность 200–600 м) сложена известняками, доломитами с прослоями и линзами строматолитов и с подчиненными прослоями низкоуглеродисто-глинистых сланцев и алевролитов, малоинзерская (150–250 м) – алевролитами, сланцами, песчаниками, содержащими прослой карбонатных пород со строматолитами, ушаковская (30–100 м) – доломитами и доломитизированными известняками с большим количеством строматолитов и микрофитолитов, куткурская (150–250 м) – пестроокрашенными сланцами с прослоями песчаников, реветская (400–500 м) – доломитами и доломитизированными известняками, содержащими строматолиты и микрофитолиты, с маломощными прослоями низкоуглеродисто-глинистых сланцев, реже песчаников и алевролитов, и редкими прослоями и линзами кремней, тюльменская (50–300 м) – алевролитами, песчаниками, сланцами и глинистыми доломитами.

В разрезе реветской подсвиты авзянской свиты на левом берегу р. Большой Авзян в пос. Верхний Авзян обнажаются серые, светло-, розовато- и желтовато-серые, тонко-, средне- и грубоплитчатые, тонко- и горизонтально-полосчатые, а также неясно- и волнисто-слоистые доломиты [7]. Нижняя и средняя части разреза представлены пачками переслаивания средне- и грубоплитчатых массивных доломитов, тонкоплитчатых доломитовых мергелей. В верхней части разреза в доломитах встречаются строматолиты. Иногда наблюдается их окремнение и перекристаллизация. Общая мощность разреза составляет около 250 м. По нашим данным [14, 15], доломиты характеризуются тонкокристаллической структурой, массивной текстурой, в них отмечается терригенная примесь зерен кварца и полевых шпатов до 5–10 об. %, наблюдаются редкие вкрапленники пирита, единичные слабо окварцованные прожилки, выполненные агрегатами мусковита и хлорита.

В стратиграфически вышележащих отложениях каратауской серии верхнего рифея базальной является зильмердакская свита, которая объединяет (снизу вверх) бирьянскую, нугушскую, лемезинскую и бедерышинскую подсвиты. Бирьянская подсвита является наиболее типичной для зильмердакской свиты и имеет преимущественное распространение среди других подсвит [10]. В ее составе преобладают полевошпат-кварцевые, аркозовые, субаркозовые и кварцевые разнотекстурные песчаники, местами переходящие в гравелиты и мелкогалечниковые конгломераты, иногда содержащие прослой и пачки алевролитов, аргиллитов, доломитов. Окраска пород желтовато-, светло-, розовато-серая, коричнево-красная различной густоты. Общая мощность отложений бирьянской подсвиты изменчива и составляет ~500–2000 м.

По данным В.И. Козлова [10], количество полевых шпатов, представленных плагиоклазом, микроклином и ортоклазом, в песчаниках

бирьянской подсвиты колеблется от 5 до 30 об. %. Иногда они имеют таблитчатую и призматическую формы. Согласно ранее проведенным петрографическим наблюдениям [10], в песчаниках подсвиты ортоклаз и микроклин присутствуют примерно в равных пропорциях, а плагиоклаз в большинстве случаев отмечается в единичных зернах, редко достигая 1–2 об. % от общего количества полевых шпатов. Обычно КПШ имеют розовую окраску, представлены хорошо- и угловато-окатанными зернами, размер которых, как правило, не превышает 5 мм, редко достигает 3 см [10, 28].

Геологическая характеристика типового разреза реветской подсвиты. Стратотипическим для авзянской свиты является разрез по левому берегу р. Большой Авзян в пос. Верхний Авзян, однако в нем реветская подсвита обнажена неполностью, отдельными фрагментами, поэтому в качестве ее типового разреза рассматриваются отложения по левому берегу р. Малый Инзер в окрестностях д. Реветь [10]. Этот разрез расположен в центральной части Башкирского мегантиклинория, в инзерском синклинии (см. рис. 1). Здесь в левом борту долины р. Малый Инзер выше и ниже устья р. Реветь вскрывается разрез, в котором стратиграфически снизу вверх наращаются отложения ушаковской, куткурской, реветской подсвит авзянской свиты и далее через задернованный и закрытый осыпью интервал бирьянской и нугушской подсвит зильмердакской свиты. Наиболее подробное описание разреза опубликовано в работе [29], которое принято в настоящей статье (рис. 2) и ниже приводится с небольшими сокращениями.

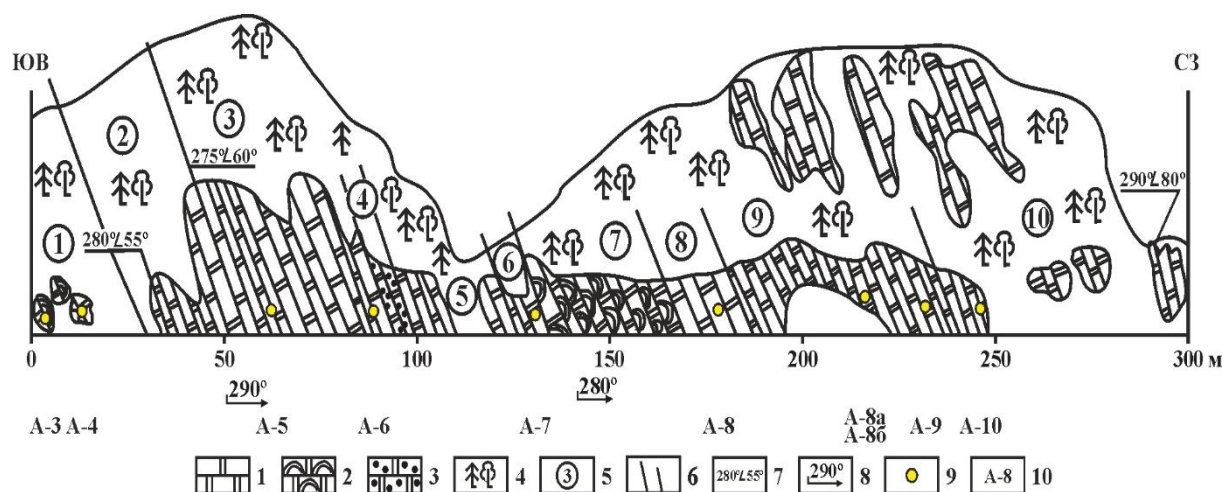


Рисунок 2 – Типовой разрез реветской подсвиты авзянской свиты на левом берегу р. Малый Инзер в окрестностях д. Реветь, по [29] с небольшими дополнениями и изменениями

где: 1 – доломиты, 2 – строматолитовые доломиты, 3 – доломиты с остроугольными пустотами выщелачивания (кавернами), 4 – задернованные и закрытые интервалы, 5 – номера слоев, 6 – границы слоев, 7 – элементы залегания пород, 8 – направление маршрута, 9 – места отбора образцов, 10 – номера образцов

Отложения реветской подсвиты указанными авторами разделены на 10 следующих слоев (снизу вверх).

1. Розовато-серые среднеплитчатые доломиты с редкими постройками строматолитов. Мощность 18–20 м.

2. Розовато- и коричневатого-серые плитчатые, но чаще комковатые, тонко- и неравномернозернистые доломиты с прожилками вторичного светло-розового карбоната, отдельными интервалами псевдобрекчированные. Мощность 33 м.

3. Серые со слабым розоватым оттенком крупно- и грубоплитчатые массивные мелкозернистые доломиты с тонкими трещинками, залеченными вторичным карбонатом, и редкими небольшими кавернами выщелачивания. Мощность 23 м.

4. Серые и светло-серые тонкокристаллические средне- и грубоплитчатые доломиты с многочисленными пустотами выщелачивания треугольной, ромбической и многоугольной форм, инкрустированные вторичным карбонатом и редко выполненные охристой массой. Количество каверн варьирует, но в среднем составляет около 10 об. %. Мощность 2.7 м.

5. Среднеплитчатые серые иногда со слабым розоватым оттенком комковатые тонкозернистые доломиты. Мощность 23 м.

6. Среднеплитчатые тонкозернистые массивные серые и светло-серые доломиты с маломощными (30–50 см) интервалами комковатых разностей. Мощность 7.5 м.

7. Строматолитовые крупно- и грубоплитчатые доломиты и их водорослево-слоистые разности. Мощность 27 м.

8. Средне- и крупноплитчатые массивные доломиты тонкозернистые, кремово-серые и серые с неравномерным распределением темных и светлых участков. Мощность 18 м.

9. Неравномерное чередование тонкозернистых неслоистых желтовато-серых и светлых кремово-желтых среднеплитчатых доломитов с прослоями мощностью не более 60–80 см тонкоплитчатых тонко-, горизонтальнослоистых доломитов, вероятно, слабо окремненных. Мощность 52 м.

10. Среднеплитчатые розовато-серые тонкозернистые доломиты комковатые с редкими микропакетами мощностью в первые десятки см тонкоплитчатых более глинистых разностей. Мощность 38 м.

Общая мощность реветской подсвиты в типовом разрезе на р. Малый Инзер составляет около 240–245 м (см. рис. 2).

Методы исследования. Для исследования из различных слоев реветской подсвиты отобрано 10 образцов доломитов (см. рис. 2), в которых определено содержание петрогенных оксидов и элементов на рентгенофлуоресцентных спектрометрах: волновом VRA-30 (Германия) (W-анод, 40 кВ, 30 мА), энергодисперсионном X-Calibur (Xenometrix LTD, Израиль) (Ag-анод, 15–50 кВ, 60–1000 мА). Калибровочные графики построены по государственным

стандартным образцам известняков (КН, КН-2, КН-3, ОСО № 469-11), доломитизированных известняков (СИ-2) и доломитов (СИ-1, СИ-3). Истертые пробы весом 5 г со связующим веществом (5 капель ПВС-8) прессовались при давлении 25–27 т/см² на подложке из борной кислоты. Предел обнаружения для петрогенных оксидов составлял 0.01–0.2 мас. %, элементов – 5–10 г/т.

Содержания Fe²⁺ в доломитах установлены объемным бихроматным титриметрическим методом. Для контроля использован государственный стандартный образец доломита СИ-3. Предел обнаружения Fe²⁺ составлял 0.1–0.2 мас. %.

Нерастворимые минеральные остатки (НМО) в 5 образцах доломитов (А-4, А-7, А-8а, А-8б, А-9) изучены инфракрасной спектроскопией на ИК-Фурье-спектрометре i-Red7800u-L (SILab, Китай) в режиме диффузного отражения в интервале частот 350–4000 см⁻¹ с разрешением 4 см⁻¹ и усилением сигнала 4. Для получения НМО в 10 г хорошо истертых образцов добавляли 10% HCl. После растворения карбонатной части пробы промывали дистиллированной водой. Полученные остатки сушили при ~100°C. Навеска НМО для снятия ИК-спектра составляла 2 мг, которую смешивали со 198 мг KBr и прессовали гидравлическим прессом «Press 15».

Результаты исследований. *Геохимические особенности пород и их минералогический состав.* Химический состав, содержание редких элементов и рассчитанные минералогический состав пород типового разреза реветской подсвиты и доля КППШ в их обломочной фракции приводятся в таблице 1.

Проанализированные породы за исключением их основных пороодообразующих оксидов CaO и MgO характеризуются сравнительно низкими содержаниями других петрогенных элементов, из которых наиболее высокие усредненные концентрации фиксируются (в мас. %) для SiO₂ (6.31 ± 2.82), Al₂O₃ (0.80 ± 0.39), Fe₂O₃ (0.51 ± 0.26) и K₂O (0.57 ± 0.52) (см. табл. 1). Из редких элементов в породах устанавливаются выше кларковые (по [30]) в 6–8 раз средние содержания Ba и Rb, примерно в 2 раза – Zr и Cu. Остальные элементы находятся или на уровне кларка (Cr), или гораздо ниже (Sr, Zn, Ni).

По стехиометрическим составам доломита и кальцита в породах типового разреза реветской подсвиты по количеству CaO, MgO и ППП рассчитано содержание этих карбонатных минералов. Установлено, что среднее количество доломита в породах составляет 87.2 ± 8.4 мас. %, кальцита – 4.2 ± 4.5 мас. % (см. табл. 1). По классификации Л.В. Анфимова [6], большинство пород разреза относятся к доломитам кальцитоносным с содержанием кальцита менее 5 мас. % (обр. А-3, А-5–А-8, А-9, А-10). Также встречаются доломиты низкокальцитовые (обр. А-4, А-8б), в которых кальцит находится на уровне 5–10 мас. %. Только один образец 8-а в разрезе имеет состав доломита кальцитового с концентрацией CaCO₃ 15.1 мас. %.

Таблица 1 – Химический состав (мас. %), содержание редких элементов (г/т), минералогический состав (мас.%) пород типового разреза реветской подсвиты и доля КППШ (отн. %) в их обломочной фракции

Оксид, элемент, минерал	Номера слоев и образцов									
	Слой 1	Слой 2	Слой 3		Слой 6	Слой 8	Слой 9			Слой 10
	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	A-8	A-8a	A-8б	A-9	A-10
SiO ₂	4.41	7.46	3.65	3.91	6.89	4.26	8.82	12.50	6.97	4.24
TiO ₂	0.02	0.02	0.02	0.02	0.06	0.03	0.05	0.11	0.02	0.01
Al ₂ O ₃	0.75	0.73	0.54	0.59	0.75	0.58	1.23	1.71	0.78	0.34
Fe ₂ O ₃	0.73	0.79	0.56	0.62	0.36	0.10	0.65	0.76	0.44	0.07
FeO	0.54	0.51	0.39	0.43	0.41	0.47	0.29	0.31	0.43	0.40
MnO	0.10	0.11	0.07	0.08	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03
MgO	19.55	17.93	20.36	19.17	18.59	19.51	15.21	15.56	18.80	19.81
CaO	28.91	29.36	30.50	29.67	28.19	29.24	29.65	26.46	28.13	30.38
Na ₂ O	0.01	0.01	0.01	0.02	0.04	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02
K ₂ O	0.10	0.50	0.05	0.14	0.76	0.42	1.08	1.71	0.78	0.21
P ₂ O ₅	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.03	0.02
SO ₃	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03	0.02	0.03	0.05
ППП	45.06	42.94	45.39	45.05	43.10	44.20	41.24	38.65	42.64	45.16
Сумма	100.25	100.42	101.61	99.78	99.22	98.94	98.34	97.88	99.12	100.75
Cr	9	15	7	16	10	10	<5	22	12	10
Ni	10	<10	<5	<5	<5	<10	10	14	10	13
Cu	6	11	8	5	<5	8	12	10	8	<5
Zn	22	<10	18	18	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Rb	12	20	11	12	19	17	21	34	20	7
Sr	50	30	44	54	54	55	40	45	55	74
Zr	41	44	40	43	44	44	51	69	46	40
Ba	70	108	37	67	90	80	142	110	90	46
Al ₂ O ₃ /K ₂ O	7.5	1.5	10.1	4.3	1.0	1.4	1.1	1.0	1.0	1.6
доломит	93.1	85.5	96.0	90.7	87.7	92.3	71.5	73.2	88.8	93.3
кальцит	1.2	5.4	0.6	3.8	2.7	1.2	15.1	7.9	1.3	2.5
кварц	4.0	5.5	3.5	3.4	4.0	2.7	4.7	6.0	4.0	3.5
КППШ	0.6	2.9	0.3	0.8	4.5	2.5	6.4	10.1	4.6	1.2
доля КППШ	12.7	34.7	8.4	19.4	52.8	48.4	57.4	62.8	53.8	26.1

Примечание. ППП – потери после прокаливании.

ИК-спектроскопия НМО доломитов. Результаты исследования показаны на рисунке 3 а. Полоса поглощения ассиметричной связи $\nu_{as}(\text{Si}-\text{O}-\text{Si})$ наблюдается в области 1163 см^{-1} , что связано с присутствием в образцах кварца. Кроме того, валентные симметричные колебания этого минерала представлены одиночной полосой 695 см^{-1} . В области ниже 500 см^{-1} проявляются полосы смешанных деформационных колебаний $\delta(\text{O}-\text{Si}(\text{Al})-\text{O})$ и $\delta(\text{O}-\text{Si}-\text{O})$. Вместе с тем в области $790-720 \text{ см}^{-1}$ наблюдаются две полосы, характерные для эталонного микроклина. По полученным данным видно, что состав НМО доломитов реветской подсвиты представлен калиевым полевым шпатом и кварцем примерно в одинаковых пропорциях.

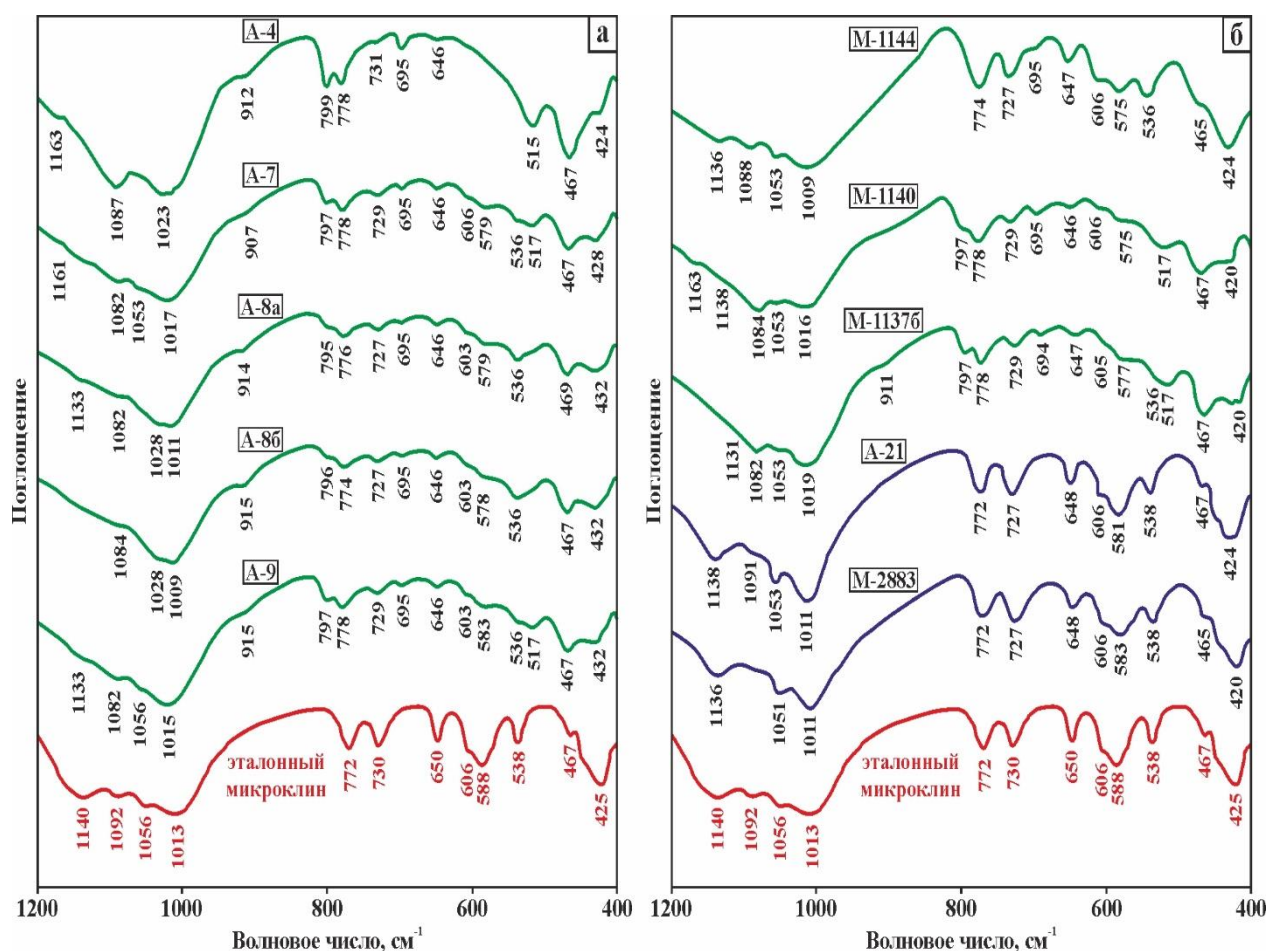


Рисунок 3 – ИК-спектры НМО доломитов реветской подсвиты авзянской свиты (выделены зеленым цветом: а – обр. А-4, А-7–А-9; б – М-1137б, М-1140, М-1144), КПШ из песчаников бирьянской подсвиты зильмердакской свиты (показаны синим цветом: б – А-21, М-2883) и эталонного микроклина (обозначен красным цветом, по [31])

Обсуждение результатов. *Минералогические и геохимические особенности.* Соотношение $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ в доломитах с высоким содержанием K_2O (в 2–6 раз выше кларка, обр. А-4, А-7–А-10) имеет низкие значения и варьирует в узком диапазоне от 1.0 до 1.6 (см. табл. 1). Это говорит о том, что в породах главным К-содержащим минералом является КПШ, в котором это отношение составляет около 1.1. В остальных образцах (обр. А-3, А-5, А-6) на фоне очень низких концентраций K_2O от 0.05 до 0.14 мас. % отношение $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ сильно колеблется от 4.3 до 10.1, что указывает на незначительную акцессорную примесь в этих доломитах мусковита или гидромусковита, в которых $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ приблизительно равно 3.3 и 4.2–16.5 соответственно.

В доломитах типового разреза реветской подсвиты среднее содержание КПШ составляет 3.4 ± 3.1 мас. %, среднее количество этого минерала в обломочной фракции – 37.6 ± 19.9 отн. % (см. табл. 1). В доломитах концентрации K_2O и КПШ одинаково обладают наиболее сильными

положительными коэффициентами корреляции с содержаниями (по мере уменьшения геохимических связей): SiO_2 ($K_{\text{корр}} = 0.97$), Rb (0.94) Al_2O_3 (0.91), TiO_2 (0.88), Ba (0.76), слабыми – с Cu (0.52), Na_2O (0.49), Cr (0.29), Fe_2O_3 (0.28), Ni (0.25). Это говорит о том, что все эти элементы, за исключением Ti, который в данном случае, вероятно, имеет с K_2O парагенетическую связь, входят в структуру КПШ. К типичным изоморфным примесям этого минерала относятся Ba и Rb [32, 33], а Cr, Cu и Ni могут встречаться в нем до 10–60 г/т [34, 35]. В отложениях авзянской свиты Н.Н. Ларионовым [9] указывается на геохимические связи КПШ с Ba, Cu, Zn, Pb.

Расчет, основанный на допущении, что установленные общие содержания Ba и Rb в валовых пробах доломитов реветской подсвиты входят лишь в структуру КПШ, дает значения этих элементов 0.24 ± 0.07 и 0.05 ± 0.01 мас. % соответственно. При этом, чтобы минимизировать ошибки, для количественной оценки взяты образцы только с содержанием КПШ в породах больше 2.5 мас. % (см. табл. 1). Следует отметить, что выполненный на аналогичном допущении расчет по опубликованным ранее данным [28] для 48 образцов песчаников и гравелитов бирьянской подсвиты зильмердакской свиты показывает абсолютно сходные расчетные содержания Ba и Rb в обломочных КПШ: соответственно 0.24 ± 0.04 и 0.05 ± 0.01 мас. %. Геохимические особенности КПШ могут отражать их разные геохимические типы в породах определенного происхождения и использоваться для установления источников сноса [36]. КПШ, образовавшиеся в магматических или метаморфических породах и затем поступившие в составе кластики в осадочные породы, характеризуются, как правило, содержаниями (в мас. %) CaO и/или Na_2O , Fe до 0.5, Ba до 1.5, иногда Sr [33, 37]. Таким образом, сходные геохимические особенности обломочных КПШ в разных литологических типах пород, доломитов из реветской подсвиты и аркозовых песчаников, гравелитов из бирьянской подсвиты свидетельствуют вероятнее всего о едином источнике кластики в конце юрматиния – начале каратавия.

Важно также отметить то, что в изученном разрезе снизу вверх по стратиграфии по мере приближения к отложениям бирьянской подсвиты в реветской подсвите наблюдается выраженное увеличение в доломитах как количественного содержания КПШ до ~6–10 мас. %, так и их относительной доли в обломочной фракции до ~48–63 отн. % (см. табл. 1, рис. 4). Данные о содержаниях КПШ до ~10 мас. % в доломитах реветской подсвиты приводятся также Н.Н. Ларионовым [9]. С точки зрения одной и той же питающей провинции в реветское и бирьянское время это показывают постепенное увеличение ее роли к началу каратавия.

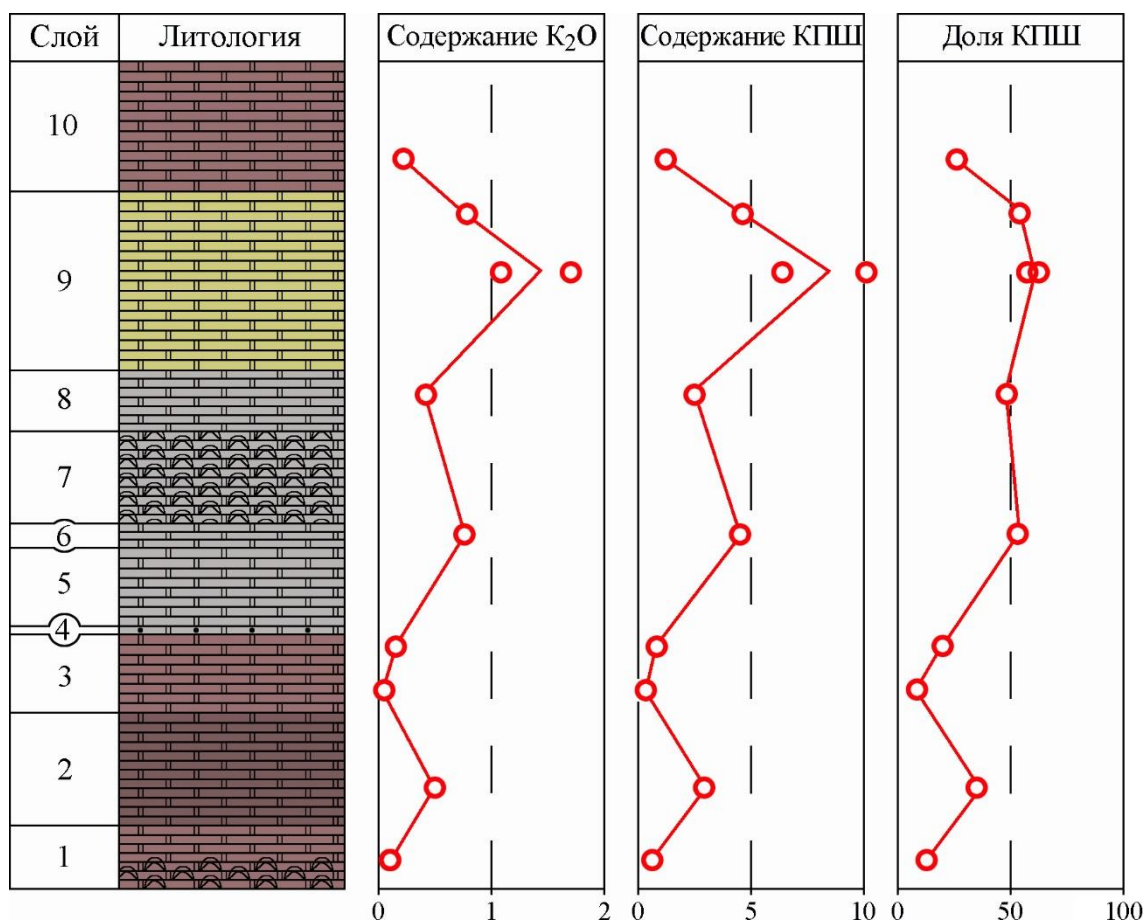


Рисунок 4 – Вариации содержаний K_2O и КПШ (мас. %) и относительной доли КПШ (отн. %) в детритовой фракции доломитов по стратиграфии в типовом разрезе реветской подсвиты авзянской свиты

Структурная упорядоченность КПШ. Полевые шпаты образуют одну из наиболее распространенных групп каркасных силикатов, которые определяются как трехмерные кристаллические структуры. Основным строительным блоком в каркасе из алюмо-кремнекислородных тетраэдров являются четверные кольца из SiO_4^{4-} и AlO_4^{5-} тетраэдров, соединяющихся в цепочки [38]. Центры этих колец, занятые катионами Si^{4+} и Al^{3+} , в общем случае имеют структурно различные позиции. Для нейтрализации отрицательного заряда каркаса, возникающего при замене Si^{4+} на Al^{3+} , полости между полиэдрами дополнительно заполняются молекулами воды и/или одно- или двухвалентными катионами (Na, K, Ca, Ba).

Полевые шпаты классифицируются по химическому составу, кристаллической структуре и Si/Al-упорядоченности. Общей чертой их строения является полное вхождение Al в состав сложного аниона, который содержит лишь связи (Si, Al) – O – (Si, Al) и не имеет так называемых концевых связей (Si, Al) – O– [38]. Распределение Al и Si в полевых шпатах в тетраэдрических позициях может быть как упорядоченным, так и неупорядоченным [39]. С помощью инфракрасных колебательных спектров можно определить эти

состояния [40]. Изоморфные замещения в катионных позициях влияют на положение полос колебаний сложных анионов. Катионная упорядоченность, приводящая к понижению симметрии кристалла, отражается на числе полос в инфракрасном спектре и может быть исследована этим методом [31, 41, 42].

КПШ кристаллизуются в моноклинной (ортоклаз, санидин) или триклинной (микроклин) сингониях. Они также характеризуются разной степенью Si/Al-, которую наряду с рентгенографическими исследованиями можно определить по результатам изучения ИК-спектроскопии [39, 41–44].

Полученные нами данные (см. рис. 3 а) дают возможность охарактеризовать проявления симметричных валентных колебаний $\nu_s(\text{Si-O-Si})$ в области $800\text{--}500\text{ см}^{-1}$, которая наиболее чувствительна к распределению Si/Al [40–42]. Спектры низкотемпературного альбита и ортоклаза в этой области содержат восемь полос, спектры санидина и высокотемпературного альбита – шесть, причем основные различия проявляются в интервале $790\text{--}720\text{ см}^{-1}$. В структурах с упорядоченным распределением Si и Al (низкий альбит, ортоклаз) наблюдаются четыре полосы, а в неупорядоченных полевых шпатах всего две [31]. Исключением является спектр микроклина, в котором в области $790\text{--}720\text{ см}^{-1}$ наблюдаются лишь две полосы, несмотря на упорядоченное расположение Si и Al. Как видно из представленных результатов (см. рис. 3 а), ИК-спектры НМО доломитов реветской подсвиты хорошо соответствуют спектру микроклина.

Степень Si/Al-упорядоченности в КПШ проявляется на положении максимумов полос поглощения в областях $600\text{--}650\text{ см}^{-1}$ (ν_1) и $500\text{--}550\text{ см}^{-1}$ (ν_2). Согласно литературным данным [40–43] степень ИК-упорядоченности КПШ можно определить по формуле $Q = 0.05(\Delta\nu - 90)$. Величина $\Delta\nu$ определяется как разность волновых чисел максимумов поглощения $650\text{--}600\text{ см}^{-1}$ (ν_1) и $550\text{--}500\text{ см}^{-1}$ (ν_2). Величина Q составляет 0.8–1.0 для микроклинов, 0.1–0.8 – для ортоклазов, 0.0–0.1 – для санидинов. Этот метод основан на ряде допущений и считается [44], что он пока еще не вышел за рамки полуколичественной оценки структурного состояния полевых шпатов. Согласно данным работы [41] на практике получаемое значение со спектрограммы отдельных образцов может превышать единицу. Однако для определения упорядоченности КПШ этот метод хорошо согласуется с результатами рентгенофазового анализа и успешно применяется на геологических объектах [43].

По результатам исследований рассчитанная величина Q детритовых КПШ из доломитов типового разреза реветской подсвиты стабильно равна 1.0. Это подтверждает полученные нами ранее данные как для КПШ из НМО доломитов реветской подсвиты в разрезе на левом берегу р. Большой Авзян в пос. Верхний Авзян, так и для КПШ из песчаников бирьянской подсвиты (см. рис. 3 б), в которых величина Q равна 1.0–1.05 и 1.0 соответственно [23, 24]. Таким образом, полученные нами ранее и в настоящей работе результаты свидетельствуют о том, что в осадочных породах обоих стратиграфических уровней на границе между

юрматинием и каратавием детритовые КППШ представлены преимущественно сходными максимально упорядоченными микроклинами. Это косвенно может указывать на неизменность состава источников сноса конца юрматиния – начала кататавия и на небольшую длительность существовавшего перерыва в осадконакоплении между отложениями этих серий.

Ранее установлено, что по большинству индикаторных геохимических отношений тонкозернистые обломочные породы авзянской свиты среднего рифея и бирьянской подсвиты зильмердакской свиты верхнего рифея в существенной степени сопоставимы [22]. По мнению названного исследователя, это либо указывает на неизменность состава палеоводосборов на протяжении более четверти миллиарда лет, либо предполагает, что длительность предпозднерифейского перерыва в осадконакоплении была не слишком велика. Как считает указанный автор, о последнем косвенно свидетельствует тот факт, что предзильмердакский размыв не затронул разные уровни авзянской свиты, а ограничился, по всей видимости, только самой верхней ее тюльменской подсвитой [7].

Заключение. Проведенные исследования доломитов реветской подсвиты авзянской свиты в типовом разрезе на левом берегу р. Малый Инзер в окрестностях д. Реветь позволяют сделать следующие выводы.

Подавляющее большинство пород типового разреза относятся к доломитам кальцитоносным с содержанием кальцита менее 5 мас. %, в меньшей степени к доломитам низкокальцитовым, в которых CaCO_3 находится на уровне 5–10 мас. %. Главным К-содержащим минералом в них является КППШ, в качестве незначительной акцессорной примеси встречается мусковит или гидромусковит. Среднее количество доломита в породах составляет 87.2 ± 8.4 мас. %, кальцита – 4.2 ± 4.5 мас. %. Наиболее высокие средние концентрации в породах фиксируются (в мас. %) для SiO_2 (6.31 ± 2.82), Al_2O_3 (0.80 ± 0.39), Fe_2O_3 (0.51 ± 0.26) и K_2O (0.57 ± 0.52), устанавливаются выше кларковые в 6–8 раз средние содержания Ва и Rb, примерно в 2 раза – Zr и Cu. Другие некоторые редкие элементы находятся или на уровне кларка (Cr), или гораздо ниже (Sr, Zn, Ni).

Среднее содержание КППШ в породах составляет 3.4 ± 3.1 мас. %, среднее количество этого минерала в НМО – 37.6 ± 19.9 отн. %. Концентрации K_2O и КППШ одинаково обладают наиболее сильными положительными коэффициентами корреляции с содержаниями SiO_2 ($K_{\text{корр}} = 0.97$), Rb (0.94) Al_2O_3 (0.91), TiO_2 (0.88), Ва (0.76), слабыми – с Cu (0.52), Na_2O (0.49), Cr (0.29), Fe_2O_3 (0.28), Ni (0.25). Расчет, основанный на допущении, что установленные общие содержания Ва и Rb в валовых пробах доломитов реветской подсвиты входят лишь в структуру КППШ, дает значения этих элементов 0.24 ± 0.07 и 0.05 ± 0.01 мас. % соответственно. Эти величины абсолютно сходны с расчетными содержаниями Ва и Rb в детритовых КППШ из аркозовых песчаников и гравелитов бирьянской подсвиты зильмердакской свиты: соответственно $0.24 \pm$

0.04 и 0.05 ± 0.01 мас. %. Кроме того, стратиграфически по мере приближения к отложениям бирьянской подсвиты в реветской подсвите наблюдается выраженное увеличение в доломитах как количественного содержания КППШ до ~6–10 мас. %, так и их относительной доли в составе НМО до ~48–63 отн. %. Все эти минералогические и геохимические данные свидетельствуют, вероятнее всего, о единой питающей провинции в реветское и бирьянское время, роль которой увеличивалась постепенно.

По результатам ИК-спектроскопии рассчитанная величина Q детритовых КППШ из доломитов типового разреза реветской подсвиты стабильно равна 1.0. Это подтверждает полученные нами ранее данные как для КППШ из НМО доломитов реветской подсвиты в разрезе на левом берегу р. Большой Авзян в пос. Верхний Авзян, так и для КППШ из аркозовых песчаников бирьянской подсвиты. Таким образом, полученные нами ранее и в настоящей работе результаты свидетельствуют о том, что в осадочных породах обоих стратиграфических уровней на границе между юрматинием и каратавием детритовые КППШ представлены преимущественно сходными максимально упорядоченными микроклинами. Вместе с ранее установленным предшественниками сходством лито- и геохимических характеристик тонкозернистых пород среднего и верхнего рифея это в большей степени указывает на неизменность состава источников сноса с конца юрматиния до начала каратавия и на небольшую длительность существовавшего перерыва в осадконакоплении между отложениями этих серий. Полученные данные в настоящей статье противоречат точке зрения о том, что предзильмердакский перерыв в осадконакоплении мог привести к существенному изменению состава питающих провинций.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках Государственного задания ИГ УФИЦ РАН № FMRS-2025-0017.

Funding. The research was carried out on the subject № FMRS-2025-0017 of the state task to the Institute of Geology UFRC RAS.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гареев Э.З., Веретенникова Т.Ю. Петрохимия и геохимия глинисто-карбонатных пород стратотипического разреза авзянской свиты на Южном Урале // Микроэлементы в магматических, метаморфических и рудных формациях Урала. Уфа: БФАН СССР, 1987. С. 61–68.
2. Ларионов Н.Н. Геология и рудоносность авзянской терригенно-карбонатной формации среднего рифея на Южном Урале: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1994. 19 с.
3. Ларионов Н.Н. Среднерифейские отложения Западно-Башкирской структурно-геологической зоны и перспективы их рудоносности // Материалы

Республиканской научно-практической конференции. Уфа, 5–6 апреля 2002 года. Уфа: Тау, 2002. С. 592–600.

4. Ларионов Н.Н. Литолого-фациальная характеристика авзянской терригенно-карбонатной рудоносной формации на Южном Урале // Естественные и математические науки в современном мире. Сборник статей по материалам XXIX международной научно-практической конференции. № 4 (28). Новосибирск: СибАК, 2015. С. 186–196.

5. Ларионов Н.Н. Рудоносность авзянской терригенно-карбонатной формации // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий. Материалы 11-й Межрегиональной научно-практической конференции, посвященной 65-летию Института геологии УНЦ РАН, Уфа, 17–19 мая 2016 г. Уфа: ДизайнПресс, 2016. С. 140–142.

6. Анфимов Л.В. Литогенез в рифейских осадочных толщах Башкирского мегантиклинория (Ю. Урал). Екатеринбург: УрО РАН, 1997. 289 с.

7. Маслов А.В., Анфимов Л.В. Авзянская рудоносная свита среднего рифея Южного Урала (литостратиграфия, условия образования, минералогия). Екатеринбург: УрО РАН. 2000. 132 с.

8. Маслов А.В., Крупенин М.Т., Гареев Э.З., Анфимов Л.В. Рифей западного склона Южного Урала (классические разрезы, седименто- и литогенез, минералогия, геологические памятники природы). Том I. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2001а. 351 с.

9. Салихов Д.Н., Ковалев С.Г., Ларионов Н.Н., Беликова Г.И. Полезные ископаемые Республики Башкортостан (железные руды). Уфа: Гилем, 2008. 148 с.

10. Стратотип рифея. Стратиграфия. Геохронология. // Труды ГИН АН СССР. Вып. 377. М.: Наука, 1983. 183 с.

11. Беккер Ю.Р. Силициты рифея (этапы, особенности, кремнистые пояса и нефтегазоносность) // Региональная геология и металлогения. 2015. № 64. С. 28–40.

12. Крупенин М.Т., Мичурин С.В., Гуляева Т.Я., Юлдашбаева В.Ф. Анкеритовые метасоматиты в карбонатных отложениях авзянской свиты среднего рифея: минералогия и геохимия // Ежегодник-2018. Труды ИГГ УрО РАН. 2019. Вып. 166. С. 59–67.

13. Мичурин С.В., Крупенин М.Т., Шиянова Е.О., Савельев Д.Е., Горожанин В.М., Дуб С.А., Казбулатова Г.М., Шарипова А.А., Ахмедова Р.Р. Разрез тюльменской подсвиты авзянской свиты среднего рифея (хр. Белягуш, Южный Урал): геология, стратиграфия, магматические образования // Геологический вестник. 2022. №3. С. 16–33. DOI: 10.31084/2619-0087/2022-3-2

14. Ахмедова Р.Р., Мичурин С.В., Шиянова Е.О., Сергеева Н.Д., Шарипова А.А. Кристаллохимические, минералогические и геохимические особенности доломитов авзянской свиты среднего рифея (Южный Урал) // Вестник

Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2023. № 3. С. 40–56. DOI: 10.17308/geology/1609-0691/2023/3/40–56

15. Akhmedova R.R., Michurin S.V., Shiyanova E.O., Sergeeva N.D., Sharipova A.A. Crystal chemical, mineralogical, and geochemical features of dolomites of the Middle Riphean Avzyan Formation (Southern Urals) // *Lithology and Mineral Resources*. 2024. V. 59 (6). P. 691–705. DOI: 10.1134/S0024490224700706

16. Крупенин М.Т. Магнезиально-железистые карбонатные руды в рифейских отложениях Башкирского мегантиклинория (источники вещества, этапы и механизмы образования): автореф. дис... д-ра геол.-мин. наук. Новосибирск, 2025. 46 с.

17. Султанова А.Г., Мичурин С.В. Некоторые вопросы геохимии лития и его распределение в рифейских породах Южного Урала // *Геологический вестник*. 2024. № 2. С. 65–80. DOI: 10.31084/2619-0087/2024-2-6

18. Michurin S.V., Kazbulatova G.M., Biktimerova Z.R. Lithium distribution in Proterozoic sedimentary rocks of the Southern Urals // *The Open Chemical Engineering Journal*. 2025. V. 19. e18741231434608. DOI: 10.2174/0118741231434608251024043309

19. Мичурин С.В., Марданшина Р.Р. Минералогические и геохимические характеристики известняков среднего и верхнего рифея (Южный Урал) // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2026. № 1. С. 58–72. DOI: 10.17308/geology/1609-0691/2026/1/00–00

20. Bartley J.K., Khan L.C., McWilliams J.L., Stagner A.F. Carbon isotope chemostratigraphy of the Middle Riphean type section (Avzyan Formation, Southern Urals, Russia): Signal recovery in a fold-and-thrust belt // *Chemical Geology*. 2007. V. 273. P. 211–232. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2006.06.018

21. Маслов А.В. Башкирский мегантиклинорий: позднерифейско-вендские перерывы и возможные трансформации систем питания бассейна // *Литосфера*. 2020. Т. 20(4). С. 455–470. DOI: 10.24930/1681-9004-2020-20-4-455-470

22. Маслов А.В. Граница юрматиния и каратавия в стратотипе рифея: сопоставление геохимических особенностей глинистых пород авзянской свиты и бирьянской подсвиты зильмердакской свиты // *Геологический вестник*. 2023. №3. С. 3–12. DOI: 10.31084/2619-0087/2023-3-1

23. Ахмедова Р.Р., Мичурин С.В. Калиевые полевые шпаты бирьянской подсвиты зильмердакской свиты верхнего рифея (Южный Урал): данные ИК-спектроскопии // *Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий. Материалы 15-й Межрегиональной научно-практической конференции, Уфа, 14–17 мая 2024 г.* Москва: Издательство «Перо», 2024а. С. 23–25.

24. Ахмедова Р.Р., Мичурин С.В. Калиевые полевые шпаты по данным ИК-спектроскопии в реветской подсвите авзянской свиты среднего рифея (Авзянский разрез, Южный Урал) // *Минералы и минералообразование в*

природных и техногенных процессах. Материалы Всероссийской конференции, посвященной 55-летию Башкирского отделения РМО. 2024б. С. 7–11.

25. Мичурин С.В., Дуб С.А. Калиевые полевые шпаты укской свиты (верхний рифей, Южный Урал): минералогические, геохимические и кристаллохимические характеристики // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2026. (в печати).

26. Пучков В.Н., Сергеева Н.Д., Краснобаев А.А. Стратиграфическая схема стратотипа рифея Южного Урала // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов АН РБ. 2017. № 23. С. 3–26.

27. Дуб С.А. Верхнерифейско-вендские отложения Башкирского мегантиклинория Южного Урала: состояние изученности и стратиграфическое расчленение // Геология и геофизика. 2021. Т. 62. № 11. С. 1511–1530.

28. Мичурин С.В., Казбулатова Г.М., Самигуллин А.А., Шарипова А.А. Геохимические особенности бирьянской подсвиты зильмердакской свиты верхнего рифея в связи с вопросами рудогенеза (хр. Зильмердак, Южный Урал) // Геологический вестник. 2023. № 3. С. 13–25. DOI: 10.31084/2619-0087/2023-3-2

29. Маслов А.В., Крупенин М.Т., Гареев Э.З., Анфимов Л.В. Рифей западного склона Южного Урала (классические разрезы, седименто- и литогенез, минералогия, геологические памятники природы). Том III. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2001б. 130 с.

30. Turekian K.K., Wedepohl K.H. Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust // Geological Society of America Bulletin. 1961. V. 72. P. 175–192.

31. Куражковская В.С., Боровикова Е.Ю. Инфракрасная и мессбауэровская спектроскопия кристаллов. Учебное пособие. М.: Геологический факультет, 2008. 101 с.

32. Афолина Г.Г., Макагон В.М., Шмакин Б.М. Барий- и рубидийсодержащие калиевые полевые шпаты. Новосибирск: Наука, 1978. 111 с.

33. Trevena A.S., Nash W.P. An electron microprobe study of detrital feldspar // Journal of Sedimentary Petrology. 1981. V. 51. P. 137–149. DOI: 10.1306/212F7C2F-2B24-11D7-8648000102C1865D

34. Alfonso P., Melgarejo J.C. Geochemistry of feldspars and muscovite in granitic pegmatite from the Cap de Creus field, Catalonia, Spain // The Canadian Mineralogist. 2003. V. 41. P. 103–116.

35. Morozova L., Zozulya D., Selivanova E., Serov P., Bazai A. Distribution of Trace Elements in K-Feldspar with Implications for Tracing Ore-Forming Processes in Pegmatites: Examples from the World-Class Kolmozero Lithium Deposit, NW Russia // Minerals. 2022. V. 12. 1448. DOI: 10.3390/min12111448

36. Martini M., Solari L.A., Peña-Guerrero M., Zepeda-Martínez M., Montomoli C. Guidelines for assessing the provenance of Mesozoic and Cenozoic

clastic successions sourced by pre-Jurassic basement complexes in southernmost North America // *Journal of Sedimentary Research*. 2020. V. 90 (5). P. 513–532. DOI: 10.2110/jsr.2020.30

37. Desborough G.A., Tysdal R.G., Knudsen A.C., Grauch R.I., Herring J.R., Brownfield I. Bulk mineralogy, micromineralogy, and authigenic minerals in the Meade Peak Phosphatic Shale Member of the Phosphoria Formation, southeastern Idaho // *Open-File Report. US Geological Survey*, 2001. 20 p. DOI: 10.3133/OFR014

38. Сендеров Э.Э. Процессы упорядочения каркасных алюмосиликатов. М.: Наука, 1990. 207 с.

39. Астапова Е.С., Ванина Е.А., Шумейко Е.В., Стриха В.Е., Моисеенко В.Г. Упорядоченность соединений ряда $KAlSi_3O_8$ – $NaAlSi_3O_8$ – $CaAl_2Si_2O_8$ // Доклады Академии наук, 2006. Т. 410. №2. С. 179–182.

40. Дериватограммы, инфракрасные и мессбауровские спектры стандартных образцов фазового состава. Дополнения к каталогу. СПб, 1992. 159 с.

41. Кузнецова Л.Г., Липатова Э.А. Инфракрасные спектры поглощения основных породообразующих минералов. Методические указания. Л.: ПК ОП ВСЕГЕИ, 1973. 108 с.

42. Плюснина И.И. Инфракрасные спектры минералов. М.: Изд-во МГУ, 1977. 174 с.

43. Лапухов А.С., Гузман Б.В., Горев В.А., Солотчина Э.П. Калиевые полевые шпаты жильных систем и их ореолов на Асачинском эпитептермальном золото-серебряном месторождении (Южная Камчатка) // Доклады академии наук. 2007. Т. 412. №6. С. 794–798.

44. Александров И.В., Астапова Е.С., Богомазова Е.В., Кожин Е.Б. ИК-спектроскопическое определение упорядоченности в каркасных алюмосиликатах // Вестник Амурского государственного университета. Серия: Естественные и экономические науки. 2010. № 49. С. 39–42.

REFERENCES

1. Gareev E.Z., Veretennikova T.Yu. Petrochemistry and geochemistry of clay-carbonate rocks of the stratotypic section of the Avzyan formation in the Southern Urals // Trace elements in magmatic, metamorphic and ore formations of the Urals. Ufa: BBAS USSR, 1987. P. 61–68. (In Russian)

2. Larionov N.N. Geology and ore content of the Avzyan terrigenous-carbonate formation of the Middle Riphean in the Southern Urals. PhD abstract. Ekaterinburg: IGG UB RAS, 1994. 19 p. (In Russian)

3. Larionov N.N. Middle Riphean sediments of the West Bashkirian structural and geological zone and prospects for their ore content // Materials of the Republican scientific and practical conference. Ufa: Tau, 2002. P. 592–600. (In Russian)

4. Larionov N.N. Lithological and facies characteristics of the Avzyan terrigenous-carbonate ore-bearing formation in the Southern Urals // Natural and

mathematical sciences in the modern world. Collection of articles based on the materials of the XXIX international scientific and practical conference. No. 4 (28). Novosibirsk: SibAK, 2015. P. 186–196. (In Russian)

5. Larionov N.N. Ore content of the Avzyan terrigenous-carbonate formation // Geology, minerals and problems of geocology of Bashkortostan, the Urals and adjacent territories. Proceedings of the 11th interregional scientific and practical conference dedicated to the 65th anniversary of the Institute of Geology of the USC RAS. Ufa: DesignPress, 2016. P. 140–142. (In Russian)

6. Anfimov L.V. Lithogenesis in Riphean sedimentary successions of the Bashkirian meganticlinorium (S. Urals). Ekaterinburg: UB RAS, 1997. 289 p. (In Russian)

7. Maslov A.V., Anfimov L.V. Avzyan ore-bearing formation of the Middle Riphean of the Southern Urals (lithostratigraphy, formation conditions, mineralgeny). Ekaterinburg: UB RAS, 2000. 132 p. (In Russian)

8. Maslov A.V., Krupenin M.T., Gareev E.Z., Anfimov L.V. Riphean of the western slope of the Southern Urals (classical sections, sedimento- and lithogenesis, mineralgeny, geological natural monuments). Vol. I. Ekaterinburg: IGG UB RAS, 2001a. 351 p. (In Russian)

9. Salikhov D.N., Kovalev S.G., Larionov N.N., Belikova G.I. Mineral resources of the Republic of Bashkortostan (iron ores). Ufa: Gilem, 2008. 148 p. (In Russian)

10. Riphean Stratotype. Stratigraphy. Geochronology // Proceedings of GIN AS USSR. Vol. 377. Moscow: Nauka, 1983. 183 p. (In Russian)

11. Bekker Yu.R. Riphean silicites (stages, features, siliceous belts and oil and gas content potential) // Regional Geology and Metallogeny. 2015. No. 64. P. 28–40. (In Russian)

12. Krupenin M.T., Michurin S.V., Gulyaeva T.Ya., Yuldashbaeva V.F. Ankerite metasomatites in carbonate sediments of the Avzyan formation of the Middle Riphean: mineralogy and geochemistry // Yearbook-2018. Proceedings of IGG UB RAS. 2019. Vol. 166. P. 59–67. (In Russian)

13. Michurin S.V., Krupenin M.T., Shiyanova E.O., Saveliev D.E., Gorozhanin V.M., Dub S.A., Kazbulatova G.M., Sharipova A.A., Akhmedova R.R. Section of the Tyulmen Subformation of the Avzyan Formation of the Middle Riphean (Belyagush Ridge, Southern Urals): geology, stratigraphy, magmatic formations // *Geologicheskii vestnik*. 2022. No. 3. P. 16–33. DOI: 10.31084/2619-0087/2022-3-2. (In Russian)

14. Akhmedova R.R., Michurin S.V., Shiyanova E.O., Sergeeva N.D., Sharipova A.A. Crystal-chemical, mineralogical and geochemical features of dolomites of the Avzyan formation of the Middle Riphean (Southern Urals) // Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology. 2023. No. 3. P. 40–56. DOI: 10.17308/geology/1609-0691/2023/3/40-56. (In Russian)

15. Akhmedova R.R., Michurin S.V., Shiyanova E.O., Sergeeva N.D., Sharipova A.A. Crystal chemical, mineralogical, and geochemical features of dolomites of the

Middle Riphean Avzyan Formation (Southern Urals) // Lithology and Mineral Resources. 2024. Vol. 59 (6). P. 691–705. DOI: 10.1134/S0024490224700706

16. Krupenin M.T. Magnesian-ferruginous carbonate ores in Riphean sediments of the Bashkirian meganticlinorium (sources of matter, stages and mechanisms of formation). Dr. Sci. abstract. Novosibirsk, 2025. 46 p. (In Russian)

17. Sultanova A.G., Michurin S.V. Some issues of lithium geochemistry and its distribution in Rifhean rocks of the Southern Urals // Geologicheskii vestnik. 2024. No. 2. P. 65–80. DOI: 10.31084/2619-0087/2024-2-6. (In Russian)

18. Michurin S.V., Kazbulatova G.M., Biktimerova Z.R. Lithium distribution in Proterozoic sedimentary rocks of the Southern Urals // The Open Chemical Engineering Journal. 2025. Vol. 19. e18741231434608. DOI: 10.2174/0118741231434608251024043309.

19. Michurin S.V., Mardanshina R.R. Mineralogical and geochemical characteristics of Middle and Upper Riphean limestones (Southern Urals) // Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology. 2026. No. 1. P. 58–72. DOI: 10.17308/geology/1609-0691/2026/1/00-00. (In Russian)

20. Bartley J.K., Khan L.C., McWilliams J.L., Stagner A.F. Carbon isotope chemostratigraphy of the Middle Riphean type section (Avzyan Formation, Southern Urals, Russia): Signal recovery in a fold-and-thrust belt // Chemical Geology. 2007. Vol. 273. P. 211–232. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2006.06.018.

21. Maslov A.V. Bashkirian meganticlinorium: Late Riphean-Vendian hiatuses and possible transformations of basin provenances // Lithosphere (Russia). 2020. Vol. 20 (4). P. 455–470. (In Russian)

22. Maslov A.V. Yurmatinian/Karatavian boundary in the Riphean stratotype: comparison of the geochemical features of clay rocks of Avzyan Formation and Biryan Subformation of Zilmerdak Formation // Geologicheskii vestnik. 2023. No. 3. P. 3–12. DOI: 10.31084/2619-0087/2023-3-1. (In Russian)

23. Akhmedova R.R., Michurin S.V. Potassium feldspars of the Biryan subformation of the Zilmerdak formation of the Upper Riphean (Southern Urals): IR spectroscopy data // Geology, minerals and problems of geoecology of Bashkortostan, the Urals and adjacent territories. Proceedings of the 15th interregional scientific and practical conference. Ufa: Pero, 2024a. P. 23–25. (In Russian)

24. Akhmedova R.R., Michurin S.V. Potassium feldspars according to IR spectroscopy in the Revet subformation of the Avzyan formation of the Middle Riphean (Avzyan section, Southern Urals) // Minerals and mineral formation in natural and technogenic processes. Proceedings of the All-Russian conference dedicated to the 55th anniversary of the Bashkir branch of the RMS. 2024b. P. 7–11. (In Russian)

25. Michurin S.V., Dub S.A. Potassium feldspars of the Uk Formation (Upper Riphean, Southern Urals): mineralogical, geochemical and crystallochemical characteristics // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2026. (In Press). (In Russian)

26. Puchkov V.N., Sergeeva N.D., Krasnobaev A.A. Stratigraphic scheme of the stratotype of the Riphean of the Southern Urals // *Geology. Proceedings of the Department of Earth Sciences and Natural Resources of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan*. 2017. No. 23. P. 3–26. (In Russian)
27. Dub S.A. Upper Riphean-Vendian deposits in the Bashkir meganticlinorium of the Southern Urals: State of study and stratigraphic subdivision // *Russian Geology and Geophysics*. 2021. Vol. 62. No. 11. P. 1511–1530. (In Russian)
28. Michurin S.V., Kazbulatova G.M., Samigullin A.A., Sharipova A.A. Geochemical features of the Biryán subformation of the Upper Riphean Zilmerdak formation in connection with the issues of ore genesis (Zilmerdak ridge, Southern Ural) // *Geologicheskii vestnik*. 2023. No. 3. P. 13–25. DOI: 10.31084/2619-0087/2023-3-2. (In Russian)
29. Maslov A.V., Krupenin M.T., Gareev E.Z., Anfimov L.V. Riphean of the western slope of the Southern Urals (classical sections, sedimento- and lithogenesis, mineralgeny, geological natural monuments). Vol. III. Ekaterinburg: IGG UB RAS, 2001b. 130 p. (In Russian)
30. Turekian K.K., Wedepohl K.H. Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust // *Geological Society of America Bulletin*. 1961. Vol. 72. P. 175–192.
31. Kurazhkovskaya V.S., Borovikova E.Yu. Infrared and Mössbauer spectroscopy of crystals. Textbook. Moscow: Geological Faculty, 2008. 101 p. (In Russian)
32. Afonina G.G., Makagon V.M., Shmakin B.M. Barium- and rubidium-bearing potassium feldspars. Novosibirsk: Nauka, 1978. 111 p. (In Russian)
33. Trevena A.S., Nash W.P. An electron microprobe study of detrital feldspar // *Journal of Sedimentary Petrology*. 1981. Vol. 51. P. 137–149. DOI: 10.1306/212F7C2F-2B24-11D7-8648000102C1865D.
34. Alfonso P., Melgarejo J.C. Geochemistry of feldspars and muscovite in granitic pegmatite from the Cap de Creus field, Catalonia, Spain // *The Canadian Mineralogist*. 2003. Vol. 41. P. 103–116.
35. Morozova L., Zozulya D., Selivanova E., Serov P., Bazai A. Distribution of Trace Elements in K-Feldspar with Implications for Tracing Ore-Forming Processes in Pegmatites: Examples from the World-Class Kolmozero Lithium Deposit, NW Russia // *Minerals*. 2022. Vol. 12. 1448. DOI: 10.3390/min12111448
36. Martini M., Solari L.A., Peña-Guerrero M., Zepeda-Martínez M., Montomoli C. Guidelines for assessing the provenance of Mesozoic and Cenozoic clastic successions sourced by pre-Jurassic basement complexes in southernmost North America // *Journal of Sedimentary Research*. 2020. Vol. 90 (5). P. 513–532. DOI: 10.2110/jsr.2020.30
37. Desborough G.A., Tysdal R.G., Knudsen A.C., Grauch R.I., Herring J.R., Brownfield I. Bulk mineralogy, micromineralogy, and authigenic minerals in the

Meade Peak Phosphatic Shale Member of the Phosphoria Formation, southeastern Idaho // Open-File Report. US Geological Survey, 2001. 20 p. DOI: 10.3133/OFR014

38. Senderov E.E. Ordering processes of framework aluminosilicates. Moscow: Nauka, 1990. 207 p. (In Russian)

39. Astapova E.S., Vanina E.A., Shumeiko E.V., Strikha V.E., Moiseenko V.G. Ordering of compounds of the KAlSi_3O_8 – $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ – $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ series // Doklady Akademii Nauk. 2006. Vol. 410. No. 2. P. 179–182. (In Russian)

40. Derivative thermogravimetric, infrared and Mössbauer spectra of standard samples of phase composition. Additions to the catalogue. St. Petersburg, 1992. 159 p. (In Russian)

41. Kuznetsova L.G., Lipatova E.A. Infrared absorption spectra of the main rock-forming minerals. Guidelines. Leningrad: PKOP VSEGEI, 1973. 108 p. (In Russian)

42. Plyusnina I.I. Infrared spectra of minerals. Moscow: MSU, 1977. 174 p. (In Russian)

43. Lapukhov A.S., Guzman B.V., Gorev V.A., Solotchina E.P. Potassium feldspars of vein systems and their halos at the Asacha epithermal gold-silver deposit (Southern Kamchatka) // Doklady Akademii Nauk. 2007. Vol. 412. No. 6. P. 794–798. (In Russian)

44. Aleksandrov I.V., Astapova E.S., Bogomazova E.V., Kozhinov E.B. IR-spectroscopic determination of ordering in framework aluminosilicates // Bulletin of Amur State University. Series: Natural and Economic Sciences. 2010. No. 49. P. 39–42. (In Russian)

Сведения об авторах:

Мичурин Сергей Васильевич, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, Институт геологии – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН). 450006, г. Уфа, Российская Федерация, ул. Карла Маркса, д. 16/2. E-mail: s_michurin@mail.ru. Orcid ID: 0000-0002-2776-2190.

Марданишина Регина Равилевна, младший научный сотрудник, Институт геологии – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН). 450006, г. Уфа, Российская Федерация, ул. Карла Маркса, д. 16/2. E-mail: delmukhametovar@mail.ru. ORCID ID: 0009-0009-4408-6524.

Самигуллин Айдар Альфридович, младший научный сотрудник, Институт геологии – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН). 450006,

г. Уфа, Российская Федерация, ул. Карла Маркса, д. 16/2. E-mail: samigullinaidar85@gmail.com. ORCID ID: 0000-0003-3089-0799.

Казбулатова Гульфия Мавлетовна, младший научный сотрудник, Институт геологии – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН). 450006, г. Уфа, Российская Федерация, ул. Карла Маркса, д. 16/2. E-mail: kazbulatova@mail.ru. ORCID ID: 0000-0003-0623-8792.

Author's personal details

Michurin Sergey Vasilyevich, PhD in geologo-mineralogical sciences, Institute of Geology – a separate structural unit of the Federal State Budgetary Scientific Institution of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (IG UFIC RAS). 450006, Ufa, Russian Federation, st. Karla Marksa, 16/2. E-mail: s_michurin@mail.ru. ORCID ID: 0000-0002-2776-2190.

Mardanshina Regina Ravilevna, Junior Researcher, Institute of Geology – a separate structural unit of the Federal State Budgetary Scientific Institution of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (IG UFIC RAS). 450006, Ufa, Russian Federation, st. Karla Marksa, 16/2. E-mail: delmukhametovar@mail.ru. ORCID ID: 0009-0009-4408-6524.

Samigullin Aidar Alfridovich, Junior Researcher, Institute of Geology – a separate structural unit of the Federal State Budgetary Scientific Institution of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (IG UFIC RAS). 450006, Ufa, Russian Federation, st. Karla Marksa, 16/2. E-mail: samigullinaidar85@gmail.com. ORCID ID: 0000-0003-3089-0799.

Kazbulatova Gulfiya Mavletovna, Junior Researcher, Institute of Geology – a separate structural unit of the Federal State Budgetary Scientific Institution of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (IG UFIC RAS). 450006, Ufa, Russian Federation, st. Karla Marksa, 16/2. E-mail: kazbulatova@mail.ru. ORCID ID: 0000-0003-0623-8792.

© Мичурин С.В., Марданшина Р.Р., Самигуллин А.А., Казбулатова Г.М.