УДК 550.42 DOI: 10.31084/2619-0087/2020-3-1

ФТОР И ХЛОР В КАРБОНАТНЫХ ПОРОДАХ ЛАПЫШТИНСКОЙ ПОДСВИТЫ СУРАНСКОЙ СВИТЫ НИЖНЕГО РИФЕЯ (БАГАРЫШТИНСКИЙ РАЗРЕЗ, ЮЖНЫЙ УРАЛ)

С.В. Мичурин[1], А.Г. Султанова[1], Г.М. Казбулатова[1], А.А. Шарипова[1], Д.Е. Савельев[1], В.М. Горожанин[1], А.М. Карамова[1,2], З.А. Войкина[1]

[1] *Институт геологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, 450077, г. Уфа, ул. К. Маркса, 16/2, E-mail: s_michurin@mail.ru*
[2] *Башкирский государственный университет, 450076, г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32*

Изучены минералогические и геохимические особенности карбонатных пород лапыштинской подсвиты суранской свиты нижнего рифея в одном из разрезов в северной части Ямантауского антиклинория. Породы разреза представлены преимущественно низкодоломитовыми и доломитовыми известняками. Содержания в породах (n = 25) фтора варьируют от менее 100 до 4080 г/т (среднее 1128 г/т), хлора — 50–225 г/т (среднее 107 г/т). Выявлено разнонаправленное геохимическое поведение F и Cl в породах. Наиболее высокие содержания фтора, превышающие его кларк в карбонатных породах в 5–12 раз, установлены в доломитовых известняках и низкокальцитовых доломитах, обнажающихся в разрезе в зоне разрывного нарушения, хлора — в наименее измененных доломитоносных известняках. Фтор концентрируется преимущественно во флогопите, F-содержащем мусковите и фторапатите. Предложены два альтернативных сценария обогащения карбонатных пород фтором, в первом из которых оно связывается с деятельностью магматогенных флюидов в зонах субмеридиональных региональных Караташского и Суранского разломов. Второй сценарий, подтверждающийся на сегодняшний день большим количеством геологических и геохимических данных, подразумевает обогащение фтором в результате разгрузки флюидов эвапоритовой природы, претерпевших катагенетическую эволюцию.

Ключевые слова: фтор, хлор, флогопит, F-содержащий мусковит, лапыштинская подсвита суранской свиты, рифейские отложения, Ямантауский антиклинорий, Башкирский мегантиклинорий

FLUORINE AND CHLORINE IN CARBONATE ROCKS OF THE LAPYSHTA SUBFORMATION OF THE SURAN FORMATION OF THE LOWER RIPHEAN (BAGARYSHTINSKY SECTION, SOUTH URAL)

S.V. Michurin[1], A.G. Sultanova[1], G.M. Kazbulatova[1], A.A. Sharipova[1], D.E. Saveliev[1], V.M. Gorozhanin[1], A.M. Karamova[1,2], Z.A. Voikina[1]

[1] *Institute of Geology, Ufa Federal Research Center of RAS, 450077, Ufa, Karl Marx st., 16/2, E-mail: s_michurin@mail.ru*
[2] *Bashkir State University, 450076, Russia, Ufa, Zaki Validi st., 32*

The mineralogical and geochemical features of carbonate rocks of the Lapyshta Subformation of the Suran Formation of the Lower Riphean were studied in one of the sections in the northern part of the Yamantau anticlinorium. The rocks of the section are mainly represented by low-dolomite and dolomite

Для цитирования: *Мичурин С.В., Султанова А.Г., Казбулатова Г.М., Шарипова А.А., Савельев Д.Е., Горожанин В.М., Карамова А.М., Войкина З.А.* Фтор и хлор в карбонатных породах лапыштинской подсвиты суранской свиты нижнего рифея (Багарыштинский разрез, Южный Урал) // Геологический вестник. 2020. № 3. С. 3–26. DOI: 10.31084/2619-0087/2020-3-1.

For citation: Michurin S.V., Sultanova A.G., Kazbulatova G.M., Sharipova A.A , Saveliev D.E., Gorozhanin V.M., Karamova A.M., Voikina Z.A. (2020) Fluorine and chlorine in carbonate rocks of the Lapyshta subformation of the Suran formation of the Lower Riphean (Bagaryshtinsky section, South Ural). *Geologicheskii vestnik*. No. 3. P. 3–26. DOI: 10.31084/2619-0087/2020-3-1.

© С.В. Мичурин, А.Г. Султанова, Г.М. Казбулатова, А.А. Шарипова, Д.Е. Савельев, В.М. Горожанин, А.М. Карамова, З.А. Войкина, 2020

limestones. The content of fluorine in rocks (n=25) varies from less than 100 to 4080 g/t (average 1128 g/t), chlorine – 50–225 g/t (average 107 g/t). The multidirectional geochemical behavior of F and Cl in the rocks was revealed. The highest fluorine contents exceeding its clarke in carbonate rocks by 5–12 times, are found in dolomite limestones and low-calcite dolomites exposed in the section of a fault zone, chlorine – in the least altered dolomitic limestones. Fluorine is concentrated mainly in phlogopite, F-containing muscovite and fluorapatite. Two alternative scenarios of the enrichment of carbonate rocks with fluorine have been proposed, in the first of which it is associated with the activity of magmatogenic fluids in the zones of submeridional regional Karatash and Suran faults. The second scenario confirmed to date by a large amount of geological and geochemical data, implies enrichment in fluorine as a result of unloading of evaporite fluids that have undergone catagenetic evolution.

Key words: fluorine, chlorine, phlogopite, F-containing muscovite, Lapyshta subformation of the Suran suite, Riphean deposits, Yamantau anticlinorium, Bashkir meganticlinorium

Введение

В Башкирском мегантиклинории в осадочных терригенных и карбонатных породах рифея установлены сравнительно высокие содержания фтора и хлора, иногда превышающие кларковые в несколько раз, которые объясняются эвапоритовым типом осадконакопления в определенные промежутки рифейского времени [Анфимов, Ковальчук, 1980; Парначев, 1987; Анфимов и др., 1987; Широбокова, 1989, 1992]. Этот вывод актуален, поскольку формирование в регионе многих полезных ископаемых, в частности, магнезитов, по современным представлениям связывается с циркуляцией флюидов эвапоритового происхождения [Крупенин, Прохаска, 2005; Крупенин, Мичурин, 2018; Крупенин и др., 2019].

В карбонатных и терригенно-карбонатных породах суранской и большеинзерской свит нижнего рифея нами подтверждены большие концентрации фтора и хлора, между которыми выявлена обратная связь [Мичурин и др., 2018б, 2019; Казбулатова и др., 2019; Султанова и др., 2019]. Сделан вывод, что присутствие хлора во флюидных включениях доломитов и магнезитов обусловлено образованием последних из метасоматических эвапоритовых флюидов/рассолов. В то же время имеющиеся данные по нижне- и среднерифейским породам не позволяют однозначно утверждать о связи высоких содержаний в них фтора с эпизодами эвапоритовой седиментации [Мичурин и др., 2019, 2020]. Предлагаемая статья является продолжением исследований геохимии фтора и хлора, в которой более детально рассматриваются результаты петрографического, минералогического и геохимического изучения одного из разрезов карбонатных пород лапыштинской подсвиты суранской свиты нижнего рифея, обнажающегося вдоль автотрассы Уфа – Белорецк близ урочища Багарышта.

Стратиграфия суранской свиты и геологическое положение разреза

Исследования проводились в Ямантауском антиклинории, который является наиболее крупной структурой в южной части Башкирского мегантиклинория. Он сложен рифейскими образованиями бурзянской, юрматинской и, частично, каратауской серий. Бурзянская серия в Ямантауском антиклинории представлена (снизу вверх) большеинзерской, суранской и юшинской свитами, впервые выделенными А.И. Ивановым [1937]. Они являются стратиграфическими аналогами соответственно айской, саткинской и бакальской свит, развитых в северо-восточной части Башкирского мегантиклинория [Нижний рифей …, 1989]. Возраст отложений саткинской свиты составляет 1550±30 млн лет [Семихатов и др., 2009].

Отложения суранской свиты обнажаются как в осевой зоне Ямантауского антиклинория, так и на его крыльях. Наиболее значительную площадь они занимают в восточной части антиклинория. Подстилающие суранскую свиту отложения большеинзерской свиты (RF_1bi), мощностью около 2150 м, представлены кварцевыми и полевошпат-кварцевыми песчаниками с прослоями доломитов, известняков, алевролитов и низкоуглеродисто-глинистых сланцев [Нижний рифей …, 1989; Маслов и др., 1998]. Перекрывающая ее юшинская свита (RF_1js) мощностью 700–1050 м, сложена преимущественно глинистыми и низкоуглеродисто-глинистыми сланцами, алевролитами, кварцевыми и полевошпат-кварцевыми песчаниками.

Суранская свита (RF_1sr) подразделяется (снизу вверх) на миньякскую (мощность 300–400 м), бердагуловскую (400–550 м), ангастакскую (200–650 м), сердаукскую (200–600 м) и лапыштинскую (200–550 м) подсвиты [Нижний рифей …, 1989; Маслов и др., 1998]. Миньякская подсвита сложена преимущественно доломитами и известняками

с маломощными прослоями низкоуглеродисто-глинистых сланцев. Бердагуловская подсвита представлена низкоуглеродисто-глинистыми и карбонатно-низкоуглеродисто-глинистыми сланцами с прослоями известняков и доломитов. Ангастакская подсвита сложена кварцевыми алевролитами, глинистыми и серицит-кварцевыми сланцами, мергелями с прослоями известняков и доломитов. Сердаукская подсвита представлена преимущественно низкоуглеродисто-глинистыми сланцами, алевролитами с прослоями известняков и доломитов. Лапыштинская подсвита сложена известняками и доломитами с прослоями алевролитов, мелкозернистых песчаников и низкоуглеродисто-глинистых сланцев. В целом суранская свита сложена в нижней и верхней частях карбонатными породами, в средней — сланцами, алевролитами и песчаниками.

Изученный разрез обнажается в трех небольших придорожных выемках на северо-восточной стороне автотрассы Уфа – Белорецк в районе поворота на бывшую д. Багарышта (рис. 1 и 2), между д. Бердагулово и г. Межгорье. В разрезе ранее по результатам полевых наблюдений описаны [Маслов и др., 2001]: в выемке № 1 — тонко- и среднеплитчатые темно-серые тонкокристаллические тонко-горизонтальнополосчатые доломиты и косоволнисто-слоистые глинистые доломиты; в выемке № 2 — темно-серые пелитоморфно-тонкокристаллические доломиты с тонкими прослоями глинисто-карбонатных тонкорассланцованных разностей; в выемке № 3 — черные известняки с многочисленными тонко-, косо- и волнистослоистыми текстурами и прослоями синседиментационных плоскообломочных карбонатных брекчий. По нашим наблюдениям [Мичурин и др., 2019], в этом обнажении карбонатные породы интенсивно тектонизированы, в выемке № 3 отмечаются тонкополосчатые калькмилониты.

Методы исследования

В разрезе пошагово через 10–20 м отобрано 25 образцов (см. рис. 2), пять из них (М-196, М-197, М-241–М-243) частично изучены ранее [Мичурин и др., 2019], двадцать (М-1316–М-1334) взяты при полевых исследованиях в 2019 г. Петрографические исследования проведены по доломитовым известнякам (обр. М-196) и низкокальцитовым доломитам (обр. М-243), обнажающимся в разрезе выемки № 3.

Во всех пробах фотометрическим методом посредством образования ализаринкомплексоната фторида лантана определялось содержание фтора, как среднее из 3–5 измерений с использованием в каждом случае двух стандартных образцов с известным содержанием фтора. Предел обнаружения составлял 0,005 мас. %. Детально ход выполнения анализа с некоторыми усовершенствованиями известной методики [Хализова и др., 1976] приводится в работе [Карамова и др., 2019].

Содержание в пробах петрогенных оксидов и редких элементов (SiO_2, Al_2O_3, TiO_2, Fe_2O_3, MnO, CaO, K_2O, SO_2, Cl, Ni, Cu, Zn, Rb, Pb) определялось рентгенофлуоресцентным анализом (аналитик В.Ф. Юлдашбаева). В целях уменьшения ошибки определения («ошибки счета»), концентрации S и Cl измерялись 3–5 раз, в каждом единичном измерении использовались два «реперных» стандартных образца карбонатного состава. Анализ проводился на спектрометре VRA-30 (Германия) (Cr и W-аноды, 40 кВ, 30 mA). Пробы весом 5 г со связующим веществом (5 капель поливинилового спирта) прессовались при давлении 25–27 т/см^2 на подложке из борной кислоты. Предел обнаружения при измерении SiO_2, Al_2O_3 составлял 0.2 мас. %; TiO_2, Fe_2O_3, MnO, CaO, K_2O — 0.01 мас. %; SO_2 — 0.005 мас. %; Cl — 20 г/т; Ni, Cu, Zn, Rb, Pb — 10 г/т.

Атомно-эмиссионный анализ с определением петрогенных (Na, Mg, Al, P, Ca, Ti, Mn, Fe) и редких (Li, B, Sc, V, Cr, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Y, Zr, Ba, La, Ce, Pb) элементов проводился в АО «ИНХП» (Уфа) на спектрометре ICPE-9000 (Shimadzu, Япония). Предел обнаружения составлял 0.1–1 г/т. Навеска пробы — 0.1 г. Подробно методика проведения анализа описана в работе [Мусина, Мичурин, 2016].

По образцам карбонатных пород (n = 10) из выемки № 3 проводился рентгенофазовый анализ на дифрактометре ДРОН-4 (аналитик Г.С. Ситдикова) в порошковых пробах навеской 0.5–1 г. Съемка выполнялась в CuKα излучении с шагом 0.02° и временем счета, равным 10 с. Для расчетов использовалась длина волны Kα1 = 1.54060 Å, полученная при напряжении и токе на рентгеновской трубке 40 кВ и 40 мА. Определение минералов проводилось по набору их межплоскостных расстояний и относительным интенсивностям соответствующих линий на дифрактограмме, ориентируясь на отражения минералов из открытой базы данных МИНКРИСТ Института экспериментальной минералогии РАН (Черноголовка).

Электронно-микроскопические исследования и определение химического состава минералов проводились в полированных шлифах на сканирующем электронном микроскопе Vega 3 SBH

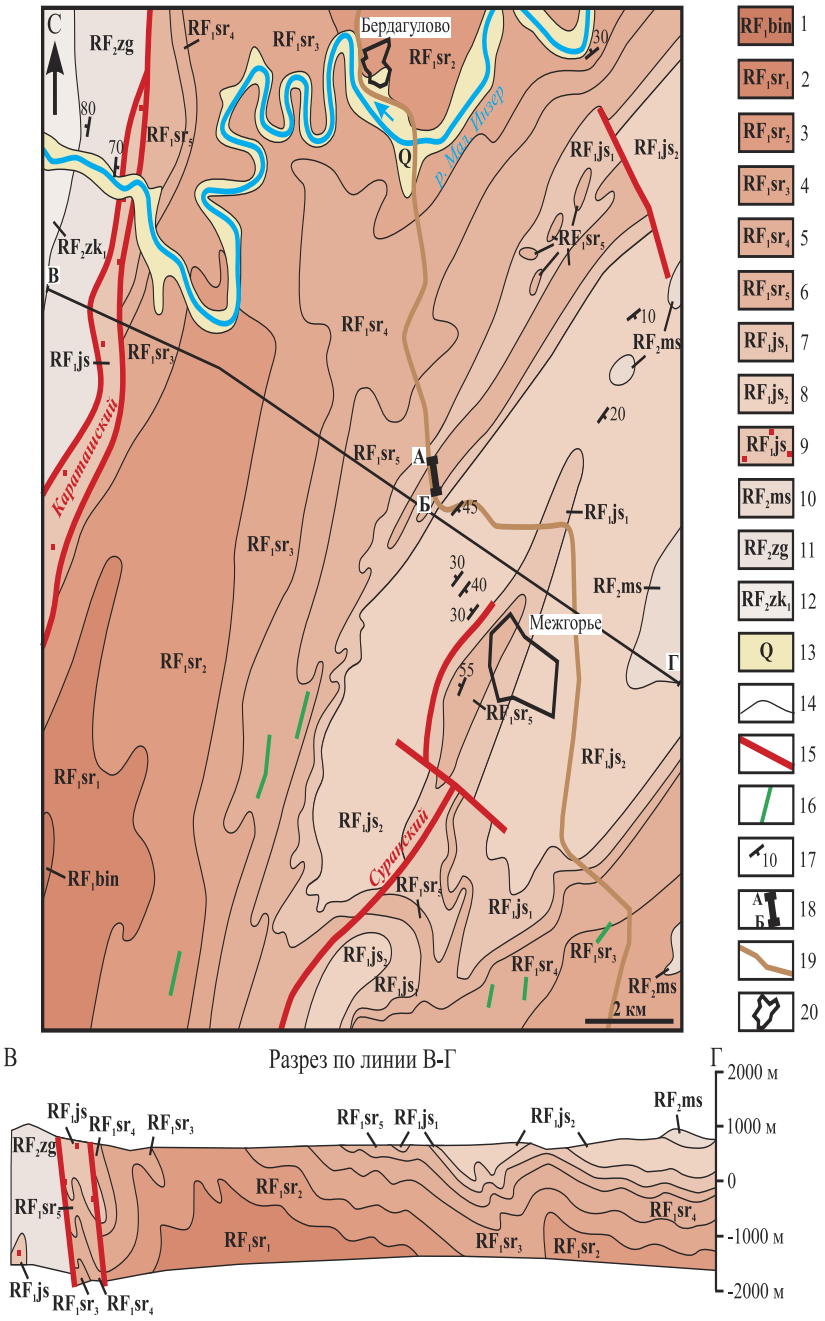

Рис. 1. Фрагмент геологической карты северной части Ямантауского антиклинория (по Г.Б. Яковлеву [1961ф]) и положение Багарыштинского разреза лапыштинской подсвиты суранской свиты

Условные обозначения: 1–9 — свиты нижнего рифея: 1 — большеинзерская; 2–6 — подсвиты суранской свиты: 2 — миньякская, 3 — бердагуловская, 4 — ангастакская, 5 — сердаукская, 6 — лапыштинская; 7–8 — подсвиты юшинской свиты: 7 — вязовская, 8 — багарыштинская; 9 — юшинская свита нерасчлененная, 10–11 — свиты среднего рифея: 10 — машакская, 11 — зигальгинская; 12 — зигазино-комаровская; 13 — четвертичные отложения; 14 — границы свит; 15 — разрывные нарушения; 16 — дайки магматических пород; 17 — элементы залегания горных пород; 18 — Багарыштинский разрез лапыштинской подсвиты суранской свиты; 19 — автотрасса Уфа–Белорецк; 20 — населенные пункты.

Fig. 1. Fragment of the geological map of the northern part of the Yamantau anticlinorium (after G.B. Yakovlev [1961ф]) and the position of the Bagaryshta section of the Lapyshta Subformation of the Suran Formation

Legend: 1–9 — Lower Riphean formations: 1 — Bolsheinzer; 2–6 — Subformations of the Suran Formation: 2 — Minyak, 3 — Berdagulov, 4 — Angastak, 5 — Serdauk, 6 — Lapyshta; 7–8 — subformations of the Yusha suite: 7 — Vyazov, 8 — Bagaryshta; 9 — undivided Yusha Formation; 10–11 — formations of the Middle Riphean: 10 — Mashak, 11 — Zigalga; 12 — Zigazino-Komarovo; 13 — Quaternary sediments; 14 — the boundaries of the formations; 15 — breaking violations; 16 — dikes of igneous rocks; 17 — elements of bedding of rocks; 18 — Bagaryshta section of the Lapyshta Subformation of the Suran Formation; 19 — Ufa–Beloretsk highway; 20 — settlements.

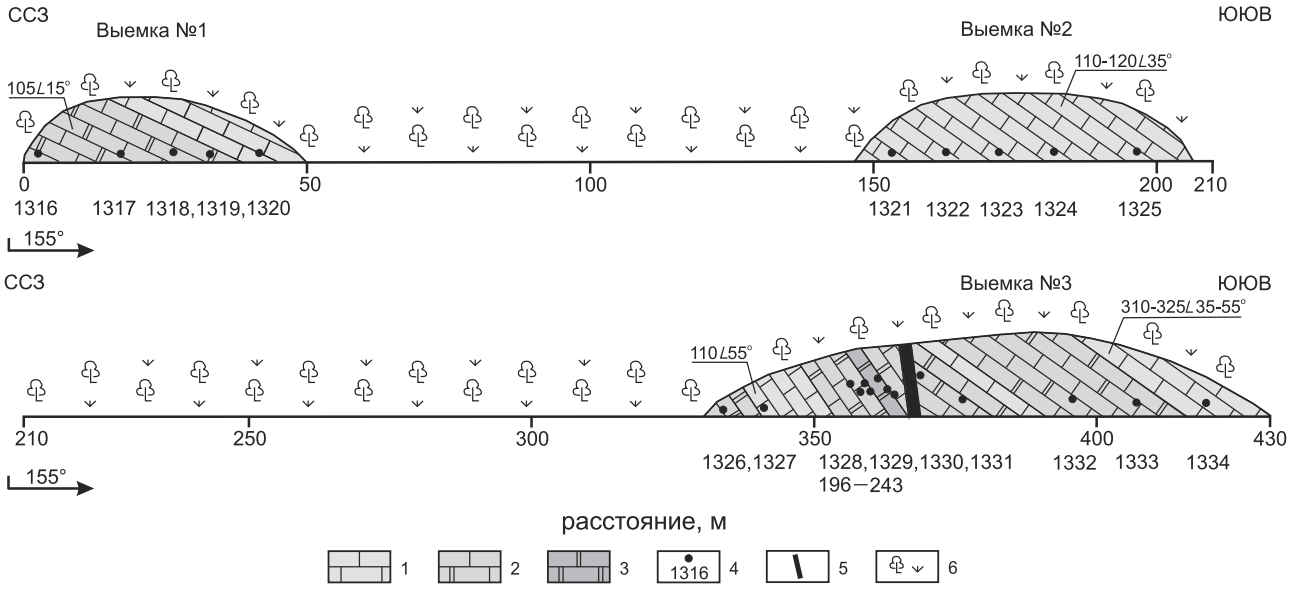

Рис. 2. Багарыштинский разрез лапыштинской подсвиты суранской свиты и положение точек отбора проб

Условные обозначения: 1 — известняки доломитоносные и низкодоломитовые с содержанием доломита менее 10%; 2 — известняки доломитовые с содержанием доломита 11–32%; 3 — доломиты низкокальцитовые с содержанием кальцита менее 10%; 4 — места отбора проб и их номера; 5 — разрывное нарушение; 6 — задернованные участки.

Fig. 2. Bagaryshta section of the Lapyshta Subformation of the Suran Formation and the location of sampling points

Legend: 1 — dolomitic and low dolomite limestones with dolomite content less than 10%; 2 — dolomitic limestone with a dolomite content of 11–32%; 3 — low-calcite dolomites with calcite content less than 10%; 4 — sampling sites and their numbers; 5 — fault; 6 — turfed.

Tescan с энергодисперсионным анализатором x-Act Oxford Instruments (ИПСМ РАН, Уфа), пирита — в аншлифах на сканирующем электронном микроскопе CamScan-4 (аналитик Д.И. Кринов, ИГЕМ, Москва).

Термоэлектродвижущая сила (термоЭДС) в пиритах измерялась двухзондовым методом на аппарате модифицированной конструкции Г.А. Горбатова [Розова, 1970] при разности температур в 100°С между холодным и горячим зондами, изготовленными из меди в соответствии с рекомендациями В.И. Красникова с соавторами [Методы …, 1985]. Диаметр зондов составлял около 0.1 мм. В качестве измерительного прибора использовался микровольтнаноамперметр Ф-136. Точность определений термоЭДС составляла ±10%.

Результаты исследования

Петрография

Доломитовые известняки (обр. М-196) представляют собой тонкокристаллические породы, в их составе преобладают карбонатные минералы (доломит, кальцит) (70–80%) и кварц (10–20%), присутствуют калиевый полевой шпат, мусковит, слюда флогопит-аннитового ряда (флогопит?) (рис. 3а–б). Из акцессорных минералов отмечается пирит в виде единичных зерен. Карбонатные минералы тонкозернистые, размером в среднем 0.03–0.05 мм, реже до 0.1 мм, ксеноморфные с неправильными формами индивидов с яркой интерференционной окраской. Контакт между их зернами зазубренный. Кварц ксеноморфный, с равномерным и волнистым погасанием, размером до 0.1–0.15 мм. В кварцевых зернах отмечаются пойкилитовые включения карбонатных минералов. Края кварцевых зерен волнистые, зазубренные, коррозионные (?). Размеры зерен калиевого полевого шпата составляют 0.05–0.08 мм. Мусковит образует бесцветные чешуйчатые агрегаты размером 0.02–0.03 мм, слюды флогопит-аннитового ряда (флогопит?) — слегка коричневые вытянутые лейсты, размером до 0.05 мм, тяготеющие к зернам кварца.

Низкокальцитовые доломиты (обр. М-243) представляют собой микро-, тонкокристаллические (размер зерен 0.01–0.03 мм) тонкополосчатые карбонатные породы с зернами кварца, калиевого полевого шпата и чешуйками слюд (рис. 3в–е). Полосчатость обусловлена чередованием ориентированных зерен и органического вещества, развитого в межзерновом пространстве и иногда выполняющего

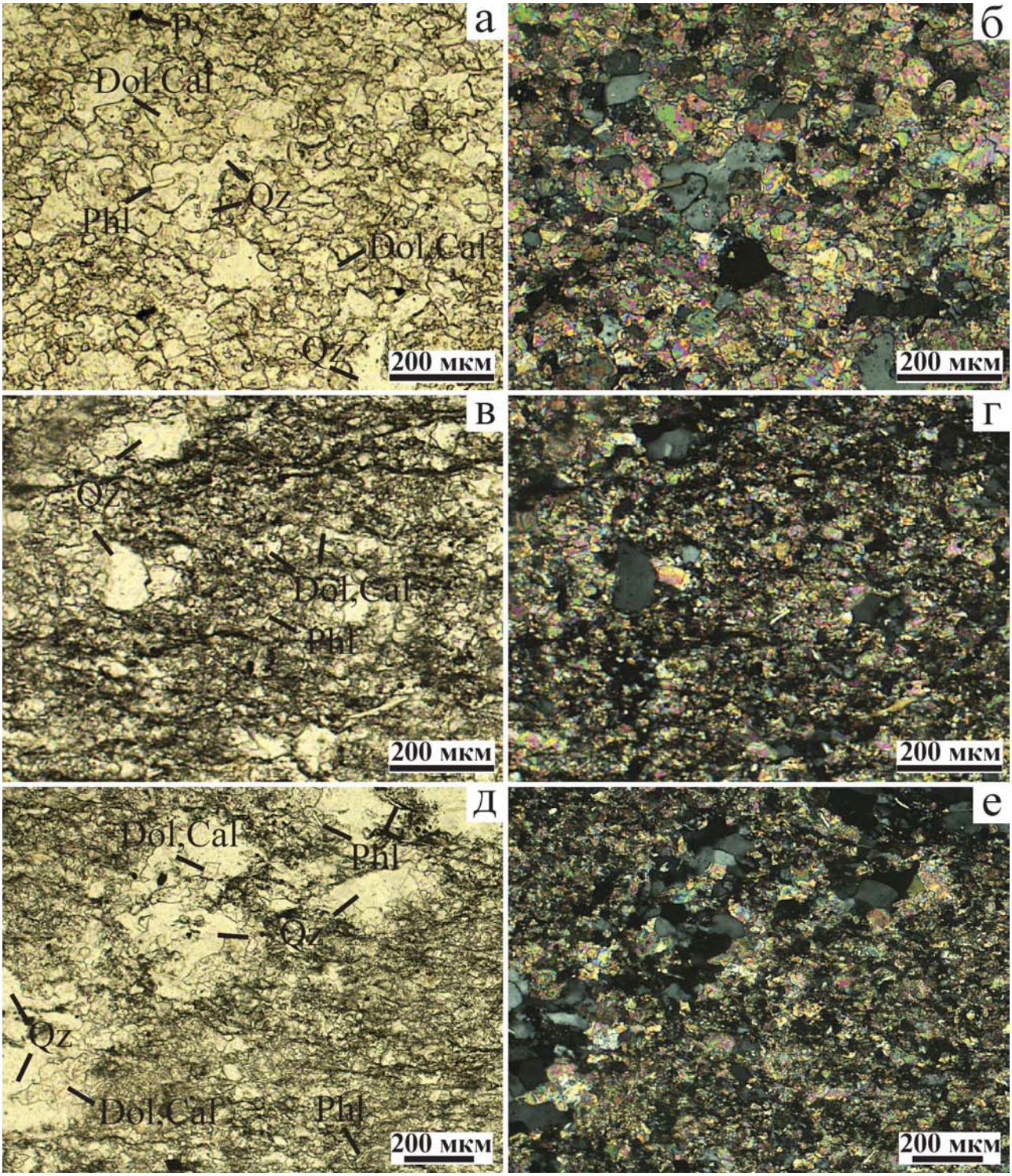

Рис. 3. Микрофотографии шлифов доломитового известняка (а, б) и низкокальцитового доломита (в–е) из выемки № 3 Багарыштинского разреза

Примечания: Cal — кальцит; Dol — доломит; Qz — кварц; Phl — флогопит; а, в, д — николи параллельные; б, г, е — николи скрещены

Fig. 3. Micrographs of thin sections of dolomite limestone (а, б) and low-calcite dolomite (в–е) from excavation No. 3 of the Bagaryshta section

Notes: Cal — calcite; Dol — dolomite; Qz — quartz; Phl — phlogopite; а, в, д — parallel nicols; б, г, е — nicols crossed

малоамплитудные тонкие стилолитовые швы. Встречаются также мелкозернистые карбонатные минералы (размер зерен до 0.2 мм). Зерна карбонатных минералов бесформенные, края крупных зерен ровные, мелких — волнистые. Кварц в виде мелких угловатых ксеноморфных зерен с однородным, реже с волнистым погасанием, иногда он образует вытянутые скопления совместно с мелкозернистыми карбонатными минералами. Края между зернами кварца ровные, кварца и карбонатных минералов — волнистые, коррозионные. Равномерно по породе развиты бесцветные таблитчатые чешуйки мусковита и сильно вытянутые лейсты слегка коричневой слюды флогопит-аннитового ряда (флогопит?), размером до 0.08 мм. Рудный минерал представлен единичными зернами пирита.

Минералогия

В минералогическом составе карбонатных пород выемки № 3 (n=10) Багарыштинского разреза по результатам рентгенофазового анализа установлены в %: кальцит (35–87), доломит (5–31), кварц (2–11), флогопит (1–7), мусковит (<1–9), калиевый полевой шпат (КПШ) (<1–7), альбит (<1–1), клинохлор (2–3) (табл. 1). Содержание минералов рассчитано по интенсивностям их главных рентгеновских отражений: кальцит — 3.024–3.032; доломит — 2.886–2.890; флогопит — 10.049–10.118; мусковит-1 — 9.870–9.936; мусковит-2 — 3.189–3.196; КПШ — 3.242–3.249; альбит — 4.029–4.040; клинохлор — 14.119–14.255 Å (рис. 4). Содержание кварца определялось по интенсивности его второго отражения 4.234–4.254 Å, не перекрывающегося рефлексами других минералов.

Кроме того, в породах разреза в выемке № 3 с север-северо-западной стороны от разрывного нарушения (образцы М-196, М-197, М-243) отмечаются кристаллы пирита, часто вытянутые по одной из осей («сплюснутые»), размером по удлинению до 3–4 мм. Пирит приурочен к редким тонким кальцитовым прожилкам, мощностью 1–2 мм, секущим слоистость под острым углом. Пирит характеризуется положительным знаком термоЭДС (дырочный тип проводимости, *p*-тип) со значениями от 135 до 700 мкв/°С (среднее 440 мкв/°С, n=9), с неясно выраженной обратной зональностью увеличения значений термоЭДС в кристаллах от центра к краю. По результатам энергодисперсионного анализа в его химическом составе ($FeS_{1.94–1.95}$) фиксируется некоторый дефицит серы. В пирите установлены включения халькопирита размером до 40 мкм, по периферии которых развиваются мелкие (1–4 мкм) включения халькозина.

По результатам энергодисперсионного анализа из карбонатных минералов в обр. М-243 встречен только железистый доломит, в котором отмечается примесь FeO на уровне 2.5 мас.%. В образце установлены флогопит, мусковит, калиевый полевой шпат (табл. 2), а также фторапатит и монацит. Максимальные содержания фтора (3.27–4.22 мас.%) обнаружены во фторапатите (франколите), химичес-

Таблица 1. Минералогический состав карбонатных пород Багарыштинского разреза (выемка № 3) по результатам рентгенофазового анализа (%)

Table 1. Mineralogical composition of carbonate rocks of the Bagaryshta section (cut No. 3) according to the results of X-ray phase analysis (%)

	Cal	Dol	Q	Phl	Ms-1	Ms-2	Mc	Ab	Clc
М-1326	53	21	11	3	2	2	3	1	3
М-1327	84	8	3	1	1	<1	2	<1	2
М-1328	35	29	11	7	3	6	7	1	2
М-1329	45	31	6	4	2	4	5	1	2
М-1330а	58	17	9	2	2	3	5	1	3
М-1330б	84	5	3	2	1	1	2	<1	2
М-1331	87	5	2	2	2	<1	<1	<1	2
М-1332	62	15	11	2	3	3	3	<1	2
М-1333	59	25	4	2	2	2	3	<1	2
М-1334	84	7	2	1	1	<1	3	<1	2

Примечание: Здесь и на рис. 4 Cal — кальцит; Dol — доломит; Qz — кварц; Phl — флогопит; Ms-1–2 — мусковиты разных генераций, имеющие разные рентгеновские отражения; Mc — калиевый полевой шпат; Ab — альбит; Clc — клинохлор.

Note: Here and in Fig. 4 Cal — calcite; Dol — dolomite; Qz — quartz; Phl — phlogopite; Ms-1–2 — muscovites of different generations with different X-ray reflections; Mc — potassium feldspar; Ab — albite; Clc — clinochlore.

кий состав которого в мас. % (среднее из 4 анализов): CaO = 45.12; P_2O_5 = 39.82; F = 3.92; кристаллохимическая формула $\{Ca_{0\,867}\}_{10}(P_{1\,008}O_4)_{6\,0}(F_{1\,110})_{2\,0}$. Включения фторапатита размером 5–15 мкм встречаются, как правило, на контакте с доломитом, иногда в ассоциации с калиевым полевым шпатом (рис. 5а).

Во флогопите также установлены высокие содержания фтора, колеблющиеся в интервале от 2.11 до 4.22 мас. % (среднее 3.36 мас. %, n = 9). В одном случае во флогопите фтор не обнаружен (см. табл. 2), вместе с тем по сравнению с другими флогопитами в этом анализе отмечено появление BaO (1.18 мас. %) и максимальное количество TiO_2, равное 2.31 мас. %. В целом отчетливо фиксируется обратная зависимость между содержаниями фтора и титана во флогопите с коэффициентом корреляции –0.89 (n = 10). Вытянутые лейсты флогопита размером по удлинению от 25 до 70 мкм встречаются на контакте зерен доломита и кварца, часто в ассоциации с мусковитом и калиевым полевым шпатом (см. рис. 5а, б).

Мусковит отличается вариативным составом с переменчивыми содержаниями TiO_2, MgO и в меньшей степени FeO (см. табл. 2). В одном из анализов в составе мусковита установлено очень высокое содержание TiO_2, равное 5.76 мас. %. Содержание фтора (1.08 мас. %) зафиксировано только в одном анализе мусковита, находящегося в тесном срастании с флогопитом (см. рис. 5а).

В составе калиевых полевых шпатов отмечается примесь Na_2O на уровне 0.44–1.12 мас. %. В одном анализе установлена примесь BaO 0.63 мас. %. Размер зерен калиевого полевого шпата составляет обычно 5–15 мкм, реже отмечаются более крупные вкрапленники до 25 мкм.

Иногда в ассоциации с мусковитом и флогопитом отмечаются мелкие ксеноморфные разрозненные выделения монацита размером 3–6 мкм. По химическому составу (в мас. %: SiO_2 = 5.43; Al_2O_3 = 2.21; CaO = 0.69; K_2O = 0.99; P_2O_5 = 27.77; La_2O_3 = 17.36; Ce_2O_3 = 28.38; Pr_2O_3 = 3.23; Nd_2O_3 = 10.07; ThO_2 = 1.42) он относится к цериевой разновидности с низким содержанием кальция и тория.

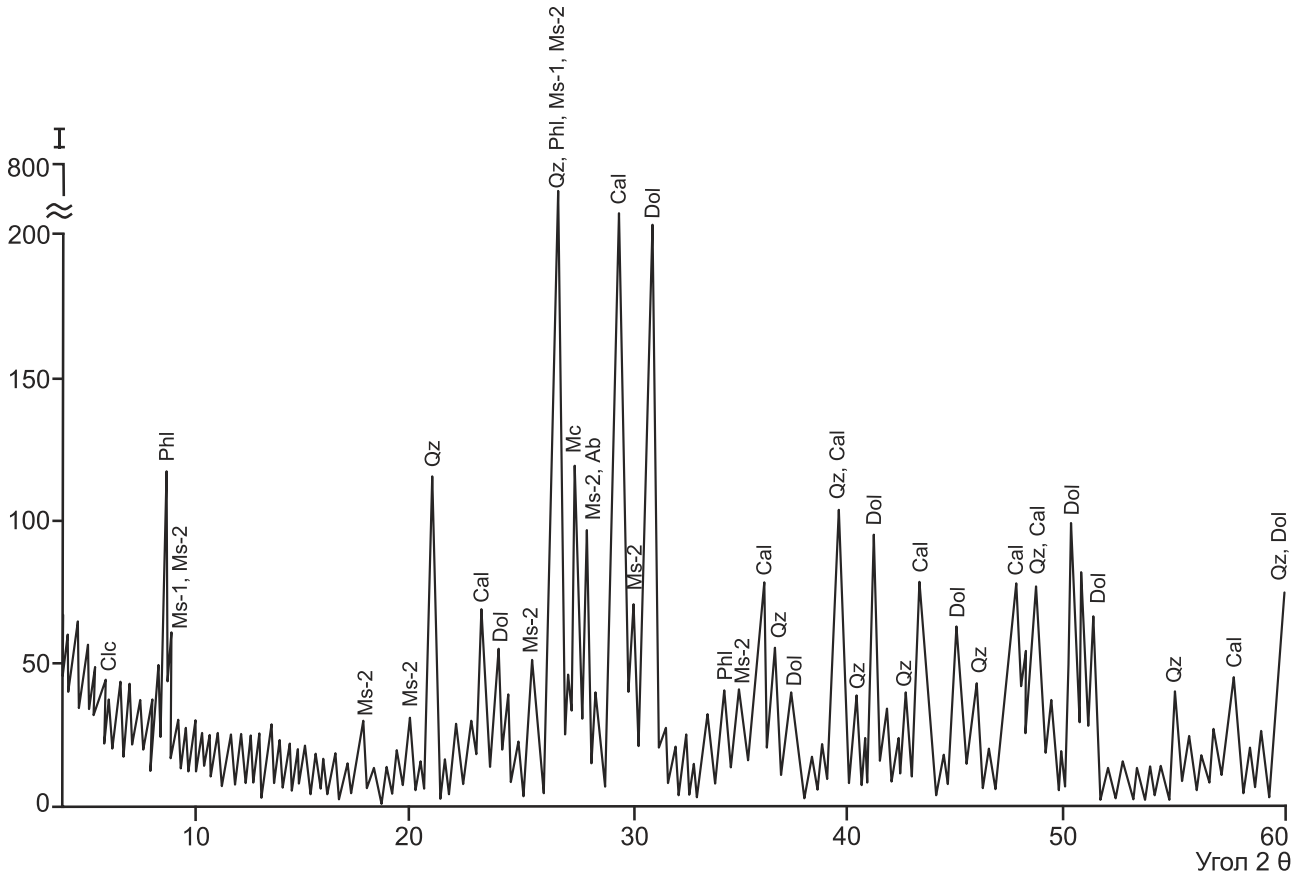

Рис. 4. Дифрактограмма известняка доломитового (М-1328) из выемки № 3 Багарыштинского разреза
Fig. 4. Diffraction pattern of dolomite limestone (M-1328) from excavation No. 3 of the Bagaryshta section

Таблица 2. Химический состав (мас.%) флогопита, мусковита и калиевого полевого шпата в низкокальцитовом доломите (обр. М-243) из выемки № 3 Багарыштинского разреза

Table 2. Chemical composition (wt.%) of phlogopite, muscovite and potassium feldspar in low-calcite dolomite (sample M-243) from excavation No. 3 of the Bagaryshta section

n	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO	MgO	K_2O	Na_2O	BaO	F	Σ	Кристаллохимическая формула
флогопит											
5	42.03	0.27	13.44	2.43	26.75	8.42	<ПО	<ПО	3.41	96.75	$\{K_{0.760}\}_{0.8}[Fe^{2+}_{0.144}Mg_{2.821}Al^{VI}_{0.094}Ti_{0.014}]_{3.1}(Si_{2.973}Al^{IV}_{1.027})_{4.0}O_{10}(F_{0.762}OH_{1.238})_{2.0}$
3	42.90	<ПО	12.35	2.17	27.39	8.51	<ПО	<ПО	3.70	97.02	$\{K_{0.767}\}_{0.8}[Fe^{2+}_{0.128}Mg_{2.885}Al^{VI}_{0.059}]_{3.1}(Si_{3.031}Al^{IV}_{0.969})_{4.0}O_{10}(F_{0.827}OH_{1.173})_{2.0}$
1	39.53	2.07	16.71	3.28	23.12	8.54	<ПО	<ПО	2.11	95.36	$\{K_{0.776}\}_{0.8}[Fe^{2+}_{0.196}Mg_{2.456}Al^{VI}_{0.220}Ti_{0.111}]_{3.0}(Si_{2.817}Al^{IV}_{1.183})_{4.0}O_{10}(F_{0.476}OH_{1.524})_{2.0}$
1	38.97	2.31	19.11	4.19	20.79	9.01	<ПО	1.18	<ПО	95.56	$\{K_{0.811}Ba_{0.033}\}_{0.8}[Fe^{2+}_{0.247}Mg_{2.187}Al^{VI}_{0.338}Ti_{0.123}]_{2.9}(Si_{2.750}Al^{IV}_{1.250})_{4.0}O_{10}(OH_{2.000})_{2.0}$
мусковит-1											
1	42.36	0.62	32.74	1.87	0.70	8.53	<ПО	<ПО	<ПО	86.81	$\{K_{0.790}\}_{0.8}[Fe^{2+}_{0.113}Mg_{0.075}Al^{VI}_{1.875}Ti_{0.034}]_{2.1}(Si_{3.074}Al^{IV}_{0.926})_{4.0}O_{10}(OH_{2.000})_{2.0}$
3	48.15	<ПО	30.06	0.59	3.96	9.25	<ПО	<ПО	<ПО	92.02	$\{K_{0.803}\}_{0.8}[Fe^{2+}_{0.034}Mg_{0.401}Al^{VI}_{1.684}]_{2.1}(Si_{3.275}Al^{IV}_{0.725})_{4.0}O_{10}(OH_{2.000})_{2.0}$
1	53.28	5.76	19.82	0.28	2.40	11.43	<ПО	<ПО	<ПО	92.99	$\{K_{0.994}\}_{1.0}[Fe^{2+}_{0.016}Mg_{0.244}Al^{VI}_{1.224}Ti_{0.295}]_{1.8}(Si_{3.632}Al^{IV}_{0.368})_{4.0}O_{10}(OH_{2.000})_{2.0}$
мусковит-2											
1	46.36	<ПО	26.60	0.59	6.29	8.82	<ПО	<ПО	1.08	89.74	$\{K_{0.797}\}_{0.8}[^{Fe2+}_{0.035}Mg_{0.664}Al^{VI}_{1.507}]_{2.2}(Si_{3.285}Al^{IV}_{0.715})_{4.0}O_{10}(F_{0.243}OH_{1.757})_{2.0}$
калиевый полевой шпат											
1	62.02	<ПО	18.85	<ПО	<ПО	13.38	1.12	<ПО	<ПО	95.37	$[Na_{0.104}K_{0.818}]_{0.9}(Al_{1.064}Si_{2.971})_{4.0}O_8$
1	62.22	<ПО	19.05	<ПО	<ПО	13.10	0.44	0.63	<ПО	95.44	$[Na_{0.041}K_{0.800}Ba_{0.012}]_{0.9}(Al_{1.074}Si_{2.978})_{4.1}O_8$
4	62.75	<ПО	18.96	<ПО	<ПО	13.54	<ПО	<ПО	<ПО	95.25	$[K_{0.824}]_{0.8}(Al_{1.066}Si_{2.994})_{4.1}O_8$
1	62.00	<ПО	19.09	<ПО	<ПО	12.95	0.59	<ПО	<ПО	94.63	$[Na_{0.055}K_{0.794}]_{0.8}(Al_{1.080}Si_{2.978})_{4.1}O_8$
1	59.64	<ПО	22.36	0.30	3.01	10.84	<ПО	<ПО	<ПО	96.15	$[K_{0.649}Fe^{2+}_{0.012}Mg_{0.211}]_{0.9}(Al_{1.237}Si_{2.799})_{4.0}O_8$

Примечание: n — количество анализов, Σ — сумма, <ПО — содержание ниже предела обнаружения.

Note: n — the number of analyzes, Σ — the sum, <PO is the content below the detection limit.

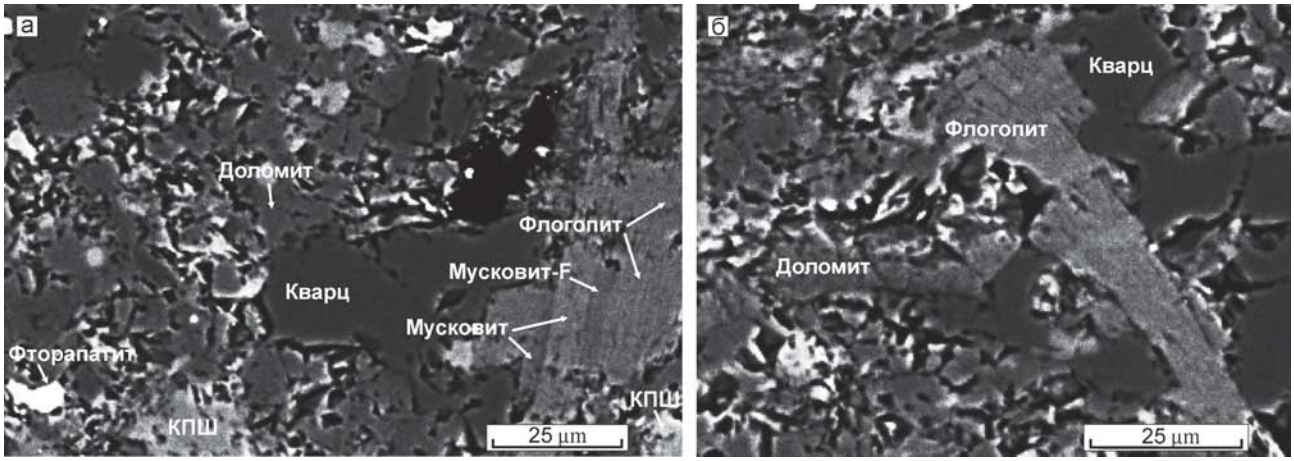

Рис. 5. Кварц, КПШ, флогопит, различные генерации мусковита и фторапатит в низкокальцитовом доломите (обр. М-243) из выемки № 3 Багарыштинского разреза

Fig. 5. Quartz, potassium feldspar (K-feldspar), phlogopite, various generations of muscovite and fluoropatite in low-calcite dolomite (sample M-243) from excavation No. 3 of the Bagaryshta section

Геохимия

Химический состав карбонатных пород и содержание в них редких элементов, в том числе хлора и фтора, приводится в таблицах 3 и 4. В данных рентгенофлуоресцентного и атомно-эмиссионного анализов по содержанию в пробах Al_2O_3, TiO_2, Fe_2O_3, MnO, CaO, Ni, Cu, Zn, Pb отмечена высокая сходимость, и по этим элементам в таблицах приводятся средние значения из двух анализов. При этом не учитывались аномальные содержания Ni в пробе М-1321 (205 г/т) и Zn в образце М-1331 (650 г/т), установленные по результатам атомно-эмиссионного анализа и не подтвержденные данными рентгенофлуоресцентного метода.

По соотношению основных породообразующих минералов — кальцита и доломита — карбонатные породы Багарыштинского разреза можно разделить на четыре литологических типа: 1) известняки доломитоносные с содержанием доломита менее 5% (М-1323–М-1325, М-1330б, М-1331); 2) известняки низкодоломитовые (содержание доломита 5–10%) (М-1320–М-1322, М-1327, М-1334); 3) известняки доломитовые (содержание доломита 10–50%) (М-1316–М-1319, М-1326, М-1330а, М-1332, М-1333, М-196, М-197, М-241); 4) доломиты низкокальцитовые (содержание кальцита 5–10%) (М-242, М-243).

В выемке № 1 (см. рис. 2) преимущественное развитие имеют известняки доломитовые, в которых содержание доломита колеблется от 11 до 32%, а терригенной примеси — от 15 до 38 мас.%. В юг-юго-восточном окончании выемки № 1 и в выемке № 2 вскрываются наиболее чистые в разрезе от терригенной примеси (3–18 мас.%) известняки доломитоносные и низкодоломитовые с содержанием доломита 3–9%. В выемках № 1 и № 2 содержание кальцита и доломита в породах рассчитано по содержанию в них MgO и CaO.

В выемке № 3 переслаиваются карбонатные породы, по литологическому составу сходные с карбонатами из выемок № 1, № 2, и, кроме того, с север-северо-западной стороны от разрывного нарушения в ней установлены доломиты низкокальцитовые с содержанием кальцита 8–10% (обр. М-241, М-242). В выемке № 3 в породах отмечается максимальное в разрезе содержание терригенной примеси, достигающее 45 мас.%.

Содержания фтора в породах выемки № 1 (n = 5) варьируют от 640 до 1138 г/т, хлора — от 74 до 162 г/т. В выемке № 2 концентрации F и Cl составляют соответственно 0–865; 98–225 г/т, а в выемке № 3 находятся в интервале 0–4080 и 50–134 г/т (см. табл. 3 и 4).

Обсуждение результатов

Как видно из приведенных результатов, содержание фтора в породах Багарыштинского разреза сильно превышает кларковые концентрации в карбонатах (330 г/т, здесь и далее кларки элементов приводятся по К. Таркьяну и К. Ведеполю [Войткевич и др., 1990]) в 2–12 раз, а содержание хлора находится на уровне кларка (150 г/т), лишь

Таблица 3. Содержания петрогенных оксидов (мас. %) и редких элементов (г/т) в породах Багарыштинского разреза (выемки № 1 и № 2)

Table 3. Content of petrogenic oxides (wt. %) and trace elements (ppm) in the rocks of the Bagaryshta section (excavations No. 1 and No. 2)

Элемент	Выемка № 1					Выемка № 2				
	М-1316	М-1317	М-1318	М-1319	М-1320	М-1321	М-1322	М-1323	М-1324	М-1325
SiO_2	8.790	25.808	15.749	25.291	5.211	9.723	10.787	10.158	1.020	2.594
TiO_2	0.098	0.201	0.094	0.267	0.076	0.080	0.103	0.078	0.039	0.059
Al_2O_3	2.499	4.802	2.473	5.356	1.252	1.811	2.392	1.604	0.492	0.875
Fe_2O_3	1.448	2.575	1.528	2.398	0.794	1.119	1.343	1.039	0.526	0.584
MnO	0.039	0.047	0.048	0.040	0.029	0.039	0.040	0.046	0.016	0.038
MgO	2.467	6.212	2.870	7.405	1.545	2.023	2.046	1.347	0.625	0.654
CaO	44.694	28.083	40.483	26.667	49.476	45.169	43.837	45.835	53.675	51.986
Na_2O	0.683	0.867	0.690	1.071	0.550	0.729	0.721	0.397	0.155	0.219
K_2O	0.208	1.065	0.368	1.450	0.183	0.213	0.826	0.484	0.033	0.156
P_2O_5	0.055	0.075	0.059	0.087	0.053	0.053	0.062	0.053	0.053	0.054
SO_2	0.019	0.009	0.016	0.013	0.007	0.009	0.012	0.006	0.022	0.014
ППП	37.767	28.820	34.902	29.010	40.513	37.654	36.633	37.439	42.804	41.510
Li	11.8	21.2	7.8	27.9	4.9	4.7	9.9	4.9	0.4	4.0
B	1.6	2.4	1.0	3.3	0.1	0.5	1.1	0.5	<ПО	<ПО
F	1172.0	917.0	1138.0	1036.0	640.0	274.0	865.0	244.0	<ПО	231.0
Cl	74.3	76.6	150.7	79.2	161.6	112.2	148.4	97.7	141.1	225.2
Sc	1.5	3.5	1.7	4.2	0.8	1.0	1.8	1.4	<ПО	0.4
V	8.5	22.1	8.2	27.9	4.6	5.6	12.9	6.4	2.6	4.4
Cr	2.1	21.0	27.5	24.2	1.1	4.9	56.5	4.6	21.1	2.0
Ni	5.8	9.6	4.8	7.3	3.5	12.8	5.8	12.6	1.5	4.7
Cu	4.2	17.6	16.3	0.4	3.9	32.7	30.6	37.8	7.2	6.2
Zn	13.8	14.9	24.3	14.0	8.0	10.2	11.1	5.6	8.9	5.8
Rb	16.8	39.7	15.0	57.5	9.0	<ПО	14.7	<ПО	<ПО	<ПО
Sr	408.4	297.2	376.0	298.2	330.5	424.5	396.2	414.4	373.0	300.2
Y	31.2	26.5	30.9	25.0	26.1	35.4	34.8	34.3	24.8	29.2
Zr	37.9	81.9	38.5	98.1	29.4	30.1	38.3	28.5	3.4	20.1
Ba	43.0	196.6	60.2	243.3	25.7	45.1	71.0	58.0	23.6	17.1
La	25.3	39.3	26.7	25.3	17.9	24.4	23.9	9.0	21.2	20.6
Ce	6.4	26.2	6.2	5.0	<ПО	2.5	3.8	<ПО	<ПО	<ПО
Pb	4.7	5.5	<ПО	4.7	18.0	2.7	2.6	11.4	5.8	6.0
Сумма	98.955	98.746	99.472	99.252	99.816	98.725	98.973	98.582	99.523	98.831

Примечание: Здесь и в табл. 4 <ПО — содержание ниже предела обнаружения.

Note: Here and in Table 4, <PO is the content below the detection limit.

незначительно его перекрывая в отдельных образцах из выемки № 2. Поэтому в первую очередь необходимо понять причины обогащения пород фтором.

Для F в целом в породах Багарыштинского разреза устанавливается прямая зависимость с большим количеством петрогенных оксидов и элементов, располагающихся в порядке уменьшения их наиболее значимых коэффициентов корреляции в следующем ряду (табл. 5): Li (0.97), Rb (0.93), Ba (0.90), P_2O_5 (0.90), K_2O (0.88), TiO_2 (0.88), Al_2O_3 (0.86), V (0.85), Sc (0.84), MgO (0.82), SiO_2 (0.77), Ni (0.76), B (0.73). Набор этих элементов и их порядок расположения достаточно очевидно отражает главные фторсодержащие минералы в породах — слюды и апатит. Это согласуется с вышеприведенными данными энергодисперсионного анализа по флогопиту, мусковиту и фторапатиту, содержащими фтор в значительных количествах. Высокий положительный коэффициент корреляции F с MgO, по-видимому, в большей степени указывает на

Таблица 4. Содержания петрогенных оксидов (мас.%) и редких элементов (г/т) в породах Багарыштинского разреза (выемка № 3)

Table 4. Contents of petrogenic oxides (wt.%) and trace elements (ppm) in the rocks of the Bagaryshta section (section No. 3)

	М-1326	М-1327	М-1328	М-243	М-242	М-241	М-1329	М-197	М-196	М-1330а	М-1330б	М-1331	М-1332	М-1333	М-1334
SiO_2	16.196	3.269	26.933	26.640	27.680	23.205	18.437	21.190	19.310	11.786	2.356	3.289	18.462	9.719	3.763
TiO_2	0.151	0.069	0.285	0.309	0.302	0.094	0.247	0.237	0.070	0.078	0.063	0.063	0.115	0.103	0.070
Al_2O_3	3.672	0.833	5.962	6.610	6.560	3.990	5.152	4.623	2.728	1.914	1.065	0.770	2.046	1.771	0.910
Fe_2O_3	1.315	0.455	1.252	1.870	2.137	1.173	1.448	1.615	1.191	1.058	0.467	0.379	0.922	0.899	0.494
MnO	0.023	0.013	0.014	0.025	0.027	0.024	0.015	0.016	0.020	0.030	0.011	0.011	0.014	0.012	0.009
MgO	5.007	2.046	7.299	11.483	11.483	7.810	6.875	6.189	7.266	3.864	1.875	1.889	3.376	5.588	1.859
CaO	36.452	50.595	25.640	19.807	18.647	29.038	31.634	32.999	36.498	42.117	50.798	50.616	38.305	40.858	49.857
Na_2O	0.276	0.039	0.558	0.367	0.363	0.730	0.382	0.398	0.443	0.364	0.125	0.124	0.250	0.280	0.037
K_2O	2.076	0.598	3.737	4.030	4.100	2.390	3.218	2.420	1.730	1.042	0.686	0.311	1.415	1.240	0.487
P_2O_5	0.082	0.055	0.114	0.138	0.145	0.122	0.094	0.076	0.032	0.056	0.053	0.053	0.063	0.059	0.053
SO_2	0.018	0.009	0.012	0.052	0.031	0.031	0.045	0.111	0.073	0.052	0.011	0.019	0.033	0.006	0.005
ППП	34.067	41.937	27.849	28.090	28.090	30.170	32.322	29.330	29.940	37.267	41.910	41.783	33.797	38.162	41.154
Li	30.6	2.9	98.2	75.8	78.0	74.7	53.3	48.8	25.6	4.0	12.6	8.0	13.6	14.2	<ПО
B	0.9	<ПО	2.0	62.3	71.0	40.5	1.0	11.6	3.0	0.1	<ПО	<ПО	0.8	0.8	<ПО
F	1079.0	58.0	4080.0	3360.0	3590.0	3120.0	1831.0	2000.0	750.0	<ПО	367.0	289.0	339.0	801.0	<ПО
Cl	66.7	134.0	67.3	81.9	79.3	133.3	50.1	130.9	130.1	112.7	110.9	107.0	73.6	61.2	78.4
Sc	3.2	0.3	4.2	5.7	6.3	3.0	3.6	3.8	2.0	1.5	0.6	0.2	2.0	1.2	0.1
V	36.5	5.4	45.3	57.0	64.5	28.7	46.2	44.4	18.6	8.8	8.1	4.6	24.8	15.0	4.5
Cr	21.0	13.6	27.3	43.7	44.9	13.3	26.4	31.3	7.7	54.3	<ПО	2.1	10.7	7.7	11.1
Ni	6.5	4.3	9.3	27.3	28.4	18.4	17.9	19.1	6.8	0.7	2.9	2.0	7.0	2.7	4.1
Cu	11.0	0.3	31.0	26.6	33.9	22.7	29.5	28.2	23.8	27.9	3.7	11.0	22.2	5.4	<ПО
Zn	9.5	8.7	38.0	76.0	52.1	47.0	18.3	71.7	81.8	2.7	7.6	3.9	8.7	9.7	4.0
Rb	12.8	1.4	81.1	92.0	98.0	80.0	45.7	49.0	35.0	9.2	6.2	10.0	14.5	3.9	<ПО
Sr	332.5	327.5	205.2	221.3	198.1	252.7	221.4	238.0	194.0	221.4	259.8	278.0	283.0	284.0	315.4
Y	21.5	13.9	17.1	18.2	18.2	28.9	22.4	22.9	24.0	17.2	19.2	20.9	26.7	20.3	15.5
Zr	50.8	56.6	100.2	105.3	118.8	38.8	69.1	70.9	52.4	33.8	19.5	38.3	43.7	44.5	57.2
Ba	180.2	60.2	377.1	482.4	469.6	332.7	313.8	212.7	154.5	100.2	63.8	34.1	122.3	140.7	55.9
La	11.0	5.2	22.1	17.9	16.8	15.0	20.3	<ПО	<ПО	12.5	11.1	27.3	25.5	13.0	4.7
Ce	<ПО	<ПО	1.1	16.6	16.1	9.8	<ПО	1.8	<ПО	<ПО	<ПО	6.8	<ПО	<ПО	<ПО
Pb	5.5	<ПО	<ПО	25.0	7.4	5.4	<ПО	4.7	7.8	1.0	8.4	<ПО	<ПО	3.1	<ПО
Σ	99.523	99.985	100.175	99.899	100.063	99.203	100.146	99.503	99.453	99.688	99.508	99.390	98.901	98.840	98.756

Таблица 5. Коэффициенты корреляции содержаний фтора и хлора с содержаниями петрогенных оксидов, редких элементов и минералов в породах Багарыштинского разреза

Table 5. Correlation coefficients of fluorine and chlorine contents with the contents of petrogenic oxides, trace elements and minerals in the rocks of the Bagaryshta section

Элемент. минерал	фтор				хлор			
	выемка № 1	выемка № 2	выемка № 3	все пробы	выемка № 1	выемка № 2	выемка № 3	все пробы
	n=5	n=5	n=15	n=25	n=5	n=5	n=15	n=25
SiO_2	0.27	0.67	0.86	**0.77**	–0.56	–0.60	–0.20	**–0.44**
TiO_2	0.13	0.90	0.94	**0.88**	–0.66	–0.28	–0.42	**–0.50**
Al_2O_3	0.29	0.86	0.92	**0.86**	–0.74	–0.39	–0.32	**–0.48**
Fe_2O_3	0.34	0.81	0.76	**0.52**	–0.74	–0.52	–0.24	**–0.37**
MnO	0.64	0.50	0.38	**–0.07**	–0.31	–0.14	0.12	**0.25**
MgO	0.19	0.71	0.85	**0.82**	–0.66	–0.53	–0.19	**–0.47**
CaO	–0.26	–0.73	–0.91	**–0.83**	0.64	0.55	0.28	**0.49**
Na_2O	0.33	0.73	0.72	**0.29**	–0.68	–0.43	0.07	**–0.06**
K_2O	0.10	0.92	0.92	**0.88**	–0.58	–0.23	–0.36	**–0.47**
P_2O_5	0.15	0.94	0.91	**0.90**	–0.59	0.20	–0.30	**–0.37**
S	0.93	–0.36	0.17	**0.28**	–0.33	0.41	0.39	**0.03**
Li	0.24	0.97	0.99	**0.97**	–0.78	–0.04	–0.20	**–0.36**
B	0.43	0.91	0.71	**0.73**	–0.84	–0.40	0.01	**–0.14**
F	–	–	–	–	–0.47	0.02	–0.20	**–0.30**
Cl	–0.47	0.02	–0.20	**–0.30**	–	–	–	–
Sc	0.24	0.85	0.88	**0.84**	–0.68	–0.39	–0.30	**–0.45**
V	0.17	0.99	0.86	**0.85**	–0.69	–0.13	–0.37	**–0.47**
Cr	0.40	0.78	0.47	**0.42**	–0.11	–0.02	–0.13	**–0.12**
Ni	0.25	0.09	0.80	**0.76**	–0.81	–0.63	–0.11	**–0.26**
Cu	0.14	0.47	0.68	**0.46**	0.13	–0.77	–0.10	**–0.15**
Zn	0.71	0.51	0.63	**0.68**	0.09	–0.25	0.29	**–0.02**
Rb	0.18	0.88	0.96	**0.93**	–0.68	–0.07	–0.07	**–0.32**
Sr	0.53	0.21	–0.58	**–0.53**	0.15	–0.96	–0.04	**0.22**
Y	0.66	0.64	0.13	**–0.20**	0.09	–0.45	0.12	**0.33**
Zr	0.13	0.83	0.78	**0.72**	–0.67	–0.23	–0.35	**–0.53**
Ba	0.12	0.77	0.95	**0.90**	–0.63	–0.60	–0.30	**–0.47**
La	0.28	0.29	0.26	**0.05**	–0.58	0.35	–0.51	**–0.10**
Ce	0.10	0.85	0.65	**0.45**	–0.53	–0.19	0.02	**–0.21**
Pb	–0.92	–0.44	0.42	**0.25**	0.41	–0.23	0.05	**0.12**
Cal	–0.24	–0.72	–0.87	**–0.81**	0.65	0.55	0.22	**0.48**
Dol	0.20	0.64	0.82	**0.79**	–0.67	–0.54	–0.24	**–0.48**
Q	–	–	0.46	–	–	–	–0.40	–
Phl	–	–	0.99	–	–	–	–0.53	–
Ms-1	–	–	0.62	–	–	–	–0.50	–
Ms-2	–	–	0.81	–	–	–	–0.58	–
Mc	–	–	0.75	–	–	–	–0.55	–
Ab	–	–	0.70	–	–	–	–0.43	–
Clc	–	–	–0.17	–	–	–	0.06	–

Примечание: Коэффициенты корреляции с доломитом и кальцитом в выемках № 1 и № 2 приводятся на основании расчетного содержания этих минералов в породах по содержанию MgO и CaO. Прочерк — коэффициент не рассчитывался.

Note: Correlation coefficients with dolomite and calcite in cuts No. 1 and No. 2 are given on the basis of the calculated content of these minerals in rocks by the content of MgO and CaO. Dash — coefficient was not calculated.

пространственную и парагенетическую связь доломита, слюд и апатита. Отметим, что концентрации фтора в породах разреза также прямо коррелируют с содержанием в них минерала доломита ($K_{кор}$ = 0.79).

В породах выемки № 3 фтор обнаруживает положительные связи почти со всеми минералами, наиболее сильная из которых проявлена с флогопитом (0.99) и мусковитом-2 (0.81) (см. табл. 5). В них фтор входит в структуру минералов. С кварцем, мусковитом-1, альбитом и калиевым полевым шпатом прямые коэффициенты корреляции меньше и варьируют от 0.46 до 0.75, отражая, как и с доломитом (0.82), пространственную и парагенетическую связь, т.е. в породах разреза количество фторсодержащих минералов (флогопита, мусковита, фторапатита) увеличивается симбатно с количеством не содержащих F минералов — доломита, калиевого полевого шпата и, в меньшей степени, кварца и альбита.

С целью определить, какую долю вносит каждый фторсодержащий минерал (флогопит, мусковит, апатит) в общее содержание фтора в породах, по образцам М-1326, М-1328, М-1329, М-1333 с высокими концентрациями в них F (от 801 до 4080 г/т) (см. табл. 4) проведен балансовый расчет. Он основан на содержании в пробах флогопита и мусковита-2 (см. табл. 1), среднему содержанию фтора во флогопите (3.36 мас.%), фторсодержащем мусковите (1.08 мас.%) и фторапатите (3.92 мас.%), установленных по результатам энергодисперсионного анализа (см. табл. 2), а также общего содержания фтора и фосфора в породах (см. табл. 4). Согласно выполненному подсчету, флогопит имеет максимальный вклад, равный в среднем 78% (вариации 71–84%), в общее содержание F в породе, фторсодержащий мусковит — 16% (11–22%), фторапатит — 6% (4–7%). При этом все вместе эти минералы «закрывают» в среднем 90% (вариации 68–100%) всего содержания фтора в породах, из чего следует, что они являются главными фторсодержащими минералами в разрезе.

В выемке № 3 вблизи разрывного нарушения с север-северо-западной стороны происходит резкое увеличение концентраций фтора и симбатного повышения содержания в породах минерала доломита (рис. 6). При этом в зоне разрывного нарушения в породах растет содержание кварца, калиевого полевого шпата, флогопита, мусковита, альбита, пирита и уменьшается количество кальцита. Для содержаний клинохлора в породах не отмечается зависимости от местоположения последних в выемке № 3. Можно сделать вывод о том, что доломит, кварц, калиевый полевой шпат, флогопит, мусковит, альбит, пирит здесь имеют метасоматическую и синтектоническую природу и образовались по первично осадочным известнякам. Отметим, что наиболее сильная отрицательная связь F фиксируется только с содержанием CaO (–0.83) и, соответственно, с содержанием кальцита (–0.81) в породах разреза.

Выполненное ранее Л.А. Гениной [1990] петрографическое изучение карбонатных пород суранской и большеинзерской свит показало, что они генетически подразделяются на осадочные известняки и доломиты и карбонатные метасоматиты по терригенным породам. Карбонатный метасоматоз не связан с региональным метаморфизмом, так как вторичный карбонат замещает в породах структуры стадий глубинного катагенеза и метагенеза. По данным указанного автора, доломитовые метасоматиты приурочены, как правило, к зонам глубинных разломов, а известковые — к контактам интрузивных пород.

Ранее в некоторых обнажениях суранской свиты нижнего рифея нами также отмечались доломитовые метасоматиты по алевропесчаникам [Мичурин и др., 2014]. В двух обнажениях по р. Зилим выше д. Толпарово установлена доломитизация известняков инзерской свиты верхнего рифея, максимально проявленная вблизи мощного разлома, разграничивающего подинзерские слои и толпаровскую свиту и протягивающегося в субмеридиональном направлении на десятки километров [Биктимерова и др., 2016].

Багарыштинский разрез располагается в районе северного окончания регионального субмеридионального Суранского разлома (см. рис. 1). Согласно результатам петрографического изучения, в породах разреза доломит представлен ксеноморфными зернами, и неправильная форма индивидов может служить признаком метасоматической природы доломита. Вместе с тем в породах в ксеноморфном кварце иногда отмечаются пойкилитовые включения карбонатных минералов, по-видимому, кальцита, что говорит о том, что флогопит-мусковит-кварц-доломитовые метасоматиты образовывались не по алевропесчаникам, а по известнякам. Тонкая размерность метасоматических минералов — доломита, кварца, слюд, КПШ — свидетельствует о том, что они формировались в условиях высокого давления. Как отмечено выше, породы разреза интенсивно тектонизированы и участками превращены в калькмилониты (рис. 7).

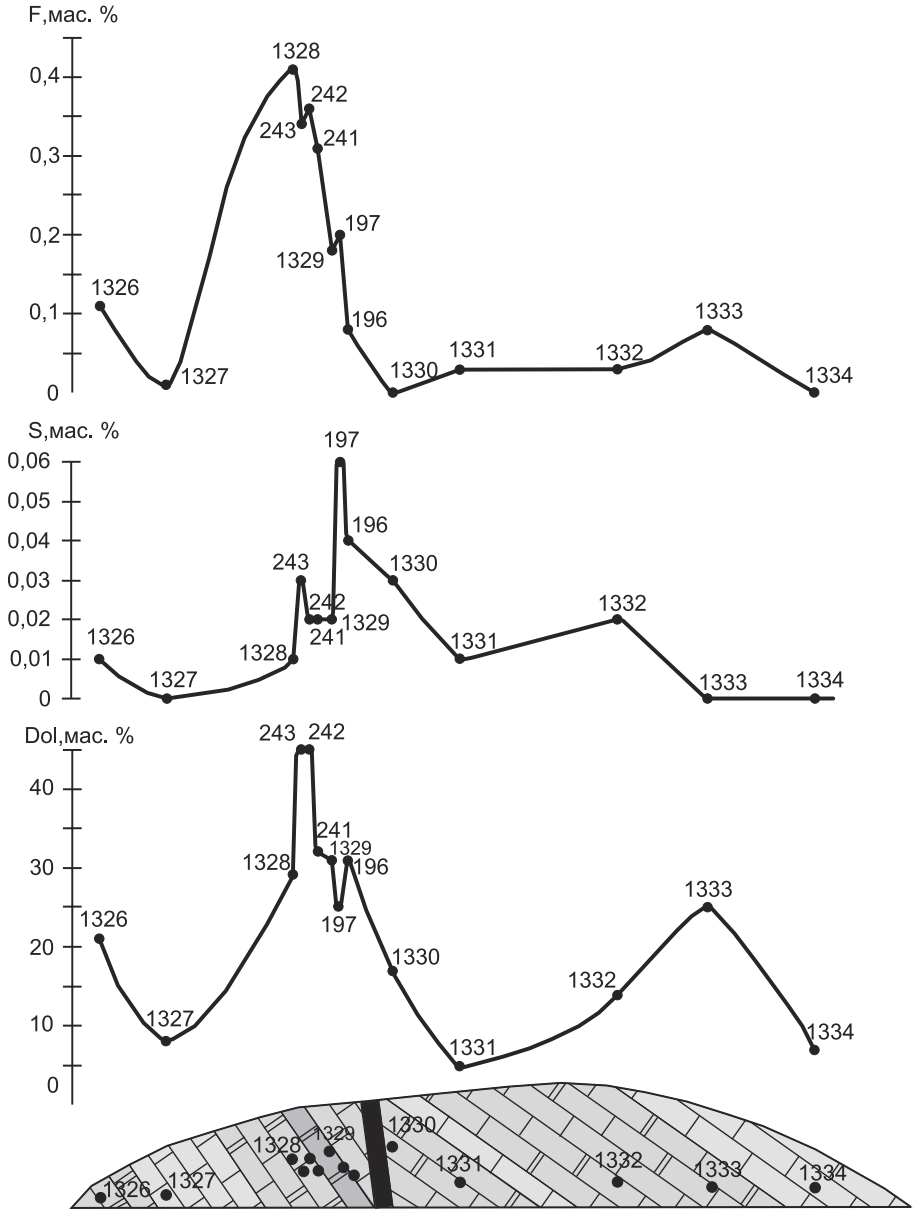

Рис. 6. Изменения содержаний фтора, серы и минерала доломита в карбонатных породах по профилю выемки № 3 Багарыштинского разреза

Условные обозначения те же, что и на рис. 2.

Fig. 6. Changes in the content of fluorine, sulfur and dolomite mineral in carbonate rocks along the profile of excavation No. 3 of the Bagaryshta section

Legend is the same as in fig. 2.

Некоторые признаки указывают на сравнительно высокотемпературные условия образования в породах разреза минеральной ассоциации «флогопит – мусковит – маложелезистый доломит» в интервале 350–570 °C. Одним из них является относительно высокое содержание TiO_2 во флогопите (до 2.31 мас. %; см. табл. 2), что обычно отмечается во флогопитах, образованных при температурах более 450–500 °C [Авченко и др., 2014; Толкачикова и др., 2015]. Концентрация титана в аннитах и слюдах аннит-флогопитовой серии является функцией температуры и давления [Henry et al., 2005; Tajčmanová et al., 2009], а в мусковитах зависит от температуры [Chambers, Kohn, 2012]. Расчет по недавно разработанному геотермометру, основанному на содержании титана в мусковите для ильменит-

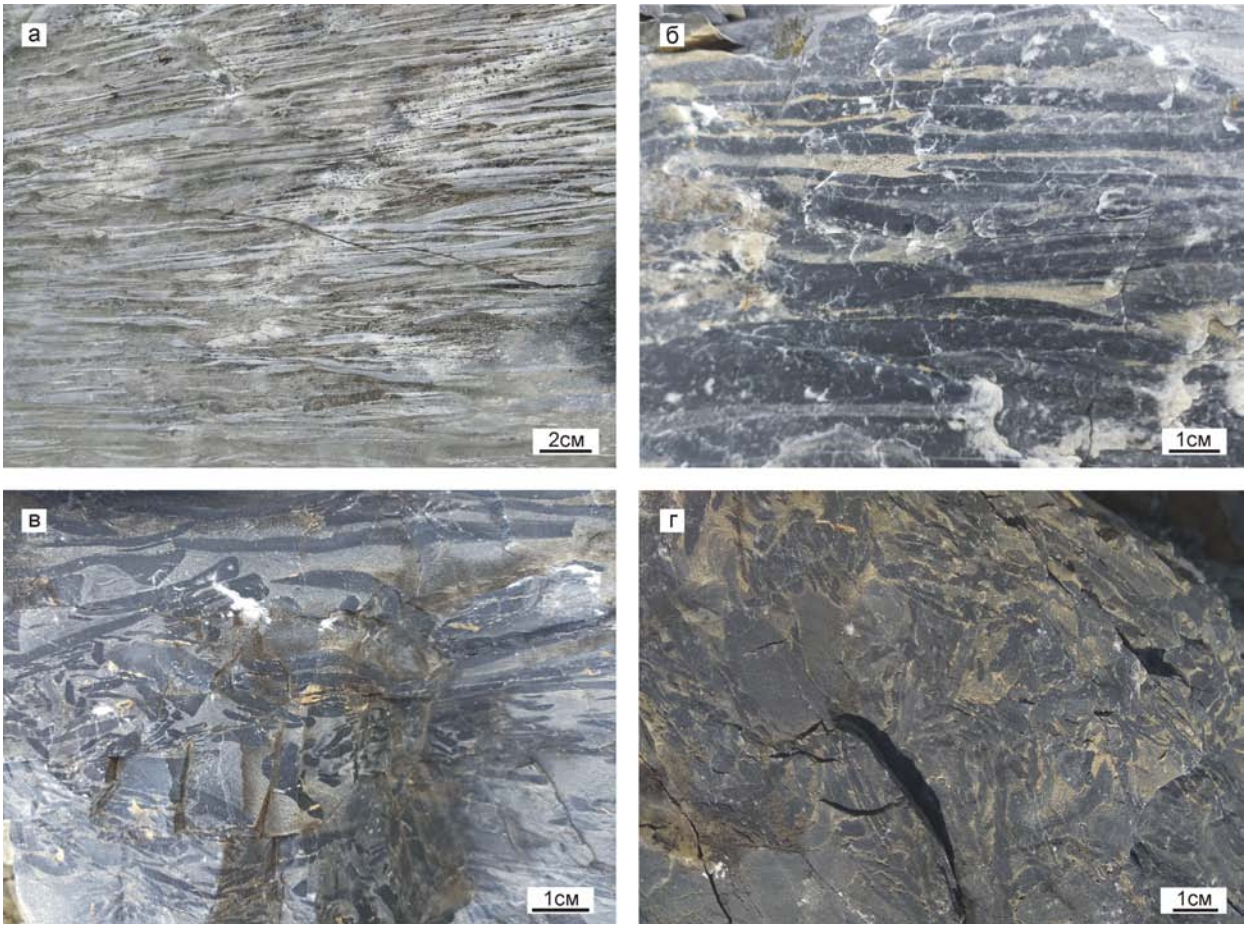

Рис. 7. Общий вид калькмилонитов (а, б) и плоскообломочных карбонатных брекчий (в, г) в породах Багарыштинского разреза

Fig. 7. General view of calcmilonites (а, б) and flat-clastic carbonate breccias (в, г) in the rocks of the Bagaryshta section

(рутил)-содержащих мусковитовых ассоциаций [Wu, Chen, 2015], дает температуру образования мусковита Багарыштинского разреза с содержанием TiO_2 0.62 мас.% (см. табл. 2) в 570°С. Кроме того, косвенным признаком того, что доломитизация в разрезе происходила при относительно высоких температурах, можно рассматривать экспериментально установленную зависимость влияния температуры на формирование карбонатов с различной железистостью. При моделировании образования аргиллизитов в процессе кислотного метасоматоза с участием хлоридных растворов с углекислотой и серой в температурном диапазоне 250–400°С брейнерит образовывался в условиях низких температур, анкерит — средних, а маложелезистый доломит — высоких [Зарайский, 2007].

Таким образом, в условиях высоких давления и температуры с привносом калиевыми фторидными растворами F, K, Al, Mg, Fe, Ti, Si, P в известняках разреза происходило метасоматическое образование доломита, калиевого полевого шпата, кварца и фторсодержащих флогопита, мусковита, фторапатита. Калиевый полевой шпат, вероятно, частично замещал альбит. На это указывает распределение натрия в породах разреза, в которых его наименьшие содержания отмечаются в выемке № 3 (см. табл. 3 и 4). Al, Ti, P, по-видимому, также привнесены (по крайней мере, частично), поскольку их концентрации увеличиваются параллельно перечисленным элементам в разрезе в зоне разрывного нарушения. В метасоматических процессах алюминий и титан, как правило, ведут себя инертно, вместе с тем их подвижность возможна в нескольких случаях: при очень высоких температурах, высокой щелочности растворов, а также в кислых фторидных растворах с высокой концентрацией фтора [Зарайский, 2007].

При региональном метаморфизме, процессы которого преимущественно изохимические, титан и фосфор ведут себя малоподвижно, однако при аллохимическом метаморфизме, в особенности с привносом щелочей, они могут проявлять значительную подвижность [Юдович и др., 2020]. Отметим, что в породах разреза содержания P_2O_5 прямо коррелируют с содержаниями K_2O (0.87), Al_2O_3 (0.86), MgO (0.83), TiO_2 (0.82), SiO_2 (0.75), Fe_2O_3 (0.56), а из минералов наиболее высокие коэффициенты корреляции фосфора (0.89–0.92) отмечаются с флогопитом, мусковитом и доломитом. Такие необычные корреляции фосфора являются спецификой метасоматитов при аллохимическом метаморфизме [Юдович и др., 2020].

Генетические модели формирования фторсодержащих минералов в породах Багарыштинского разреза

Обогащение карбонатных пород Багарыштинского разреза фтором и образование в них синтектонической метасоматической минеральной ассоциации могло произойти в результате: 1) воздействия фторсодержащих магматогенных флюидов; 2) разгрузки флюидов эвапоритовой природы и/или растворов, образованных в результате тектонических дислокаций подстилающих и перекрывающих породы лапыштинской подсвиты суранской свиты глинистых и низкоуглеродисто-глинистых сланцев сердаукской подсвиты и юшинской свиты. Каждый из этих возможных сценариев имеет свои аргументы «за» и «против».

В пользу воздействия магматогенных флюидов можно рассматривать высокие температуры образования метасоматической минеральной ассоциации Багарыштинского разреза, а также, косвенно, присутствие пирита с проводимостью *p*-типа и Th-содержащего Ce-монацита. С.Г. Ковалев с соавторами [2017] в породах Башкирского мегантиклинория по условиям образования и генезису выделяют метаморфогенный, гидротермальный на контакте с магматическими породами и флюидно-магматический монациты, различающиеся химическим составом и вариациями в содержании элементов, которые обусловлены изоморфными замещениями РЗЭ – Ca – Th в структуре монацита. В нашем случае по единичному представительному анализу монацита сложно понять, какой из перечисленных генетических разновидностей он соответствует, однако по химическому составу он более близок монациту гидротермально-экзоконтактового или флюидно-магматического происхождения.

При изучении термоэлектрических свойств в пиритах разреза установлена дырочная проводимость, которая может быть обусловлена двумя причинами: или избытком серы в составе пирита, или примесью мышьяка — основного элемента, обуславливающего этот тип проводимости в пирите [Möller, Kersten, 1994]. По результатам энергодисперсионного анализа в химическом составе пирита установлен дефицит серы, из чего следует, что его *p*-проводимость должна быть связана с примесью мышьяка. Содержание последнего в пирите находится ниже предела обнаружения энергодисперсионного анализа, т.е., по-видимому, меньше ~0.1 мас.%. Однако, исходя из высоких значений термоЭДС (среднее 440 мкв/°С) и основываясь на нашем опыте изучения термоэлектрических свойств мышьяковистых и не содержащих As пиритов из рифейских пород Ямантауского антиклинория [Мичурин и др., 2009], можно предположить, что в пирите Багарыштинского разреза содержание As находится на уровне 0.02–0.1 мас.%. В пирите установлены включения халькопирита и халькозина, в которых отмечаются (в мас.%) Zn (до 0.08), As (до 0.14), Se и Te (до 0.12), содержания которых меньше или незначительно превышают ошибку определения. По результатам атомно-эмиссионного анализа заметные содержания As (42 и 46 г/т) установлены только в пиритсодержащих образцах М-196 и М-197 с самой высокой концентрацией в них серы (0.036–0.056 мас.%) из всей выборки проб. Это подтверждает присутствие As-содержащего пирита в породах Багарыштинского разреза, увеличение которого происходит в зоне разрывного нарушения (см. рис. 6).

В Ямантауском антиклинории в пиритах из осадочных пород содержание As обычно не превышает 0.01 мас.%, и вместе с тем находится в интервале 0.01–0.1 мас.% в пиритах из месторождений и рудопроявлений золото-кварцевого малосульфидного типа, в которых они образовались из флюидов магматогенной природы [Мичурин и др., 2018а]. Следовательно, наличие в зоне разрывного нарушения Багарыштинского разреза пиритов с содержанием As выше 0.02 мас.% может свидетельствовать об их образовании в результате воздействия магматических флюидов. Следует отметить при этом, что изучаемый разрез находится в ~35 км север-северо-восточнее Исмакаевской золоторудной площади и в той же субмеридиональной зоне, в которой вблизи Караташского регионального разлома располагаются

все известные золоторудные объекты Авзянского рудного района в Ямантауском антиклинории.

В то же время концентрации большинства металлов в целом незначительно увеличиваются в породах Багарыштинского разреза, а содержания Pb ниже кларка для карбонатов. Концентрации V, Cr, Zn в выемках № 1 и № 2 ниже- или околокларковые, в выемке № 3 — в 1.5–2 раза выше кларка. Из металлов только Cu и Ni превышают кларковые содержания в породах разреза в 3–5 раз, их максимальные концентрации отмечаются в выемке № 3. Однако следует отметить, что обогащение медью и никелем в 2–3 раза относительно кларка в карбонатных породах Башкирского мегантиклинория отмечается на всех уровнях рифейского разреза [Анфимов, 1997].

Таким образом, рассмотрение поведения некоторых элементов, которые могли быть связаны с магматическим процессом, показывает, что только в выемке № 3 в породах Багарыштинского разреза отмечается незначительное увеличение S и As, а из металлов — Cu, Ni, Cr, Zn, V. Невысокие концентрации этих элементов свидетельствуют в большей степени о немагматическом процессе их накопления, либо указывают на очень слабое воздействие магматогенных флюидов на породы разреза, в непосредственной близости от которого в настоящее время не установлены магматические породы. Сера в породах разреза имеет сильно изменчивые коэффициенты корреляции со фтором от отрицательных (–0.36 в выемке № 2, см. табл. 5) до больших положительных (0.93 в выемке № 1), в целом характеризуя слабую связь ($К_{корр}$ = 0.28 по всей выборке проб) между этими элементами. В выемке № 3 содержания серы в породах очень слабо коррелируют с концентрациями фтора ($К_{корр}$ = 0.17), а из породообразующих минералов они наиболее сильно связаны с содержаниями клинохлора (0.54), альбита (0.50), кварца (0.46). Из этого можно сделать вывод, что пирит в породах разреза, вероятнее всего, имеет более позднее происхождение по отношению к фторсодержащим минералам. Высокотемпературное образование последних могло быть обусловлено не только воздействием магматогенного флюида, но и являться результатом значительных тектонических дислокаций, которые подтверждаются присутствием в разрезе в зоне разрывного нарушения калькмилонитов и послойно проявленной синтектонической доломитизации.

Альтернативным механизмом образования метасоматических фторсодержащих минералов в породах разреза является синтектоническая разгрузка флюидов эвапоритовой природы и/или растворов, сформировавшихся в результате перекристаллизации гидрослюдистых минералов из подстилающих и перекрывающих породы разреза глинистых и низкоуглеродисто-глинистых сланцев при тектонических дислокациях. Попытаемся оценить возможность проявления этого сценария.

Породы большеинзерской и суранской свит в осевой части Ямантауского антиклинория протягиваются субмеридиональной полосой между региональными Караташским и Суранским (Восточно-Суранским) разломами. К этой полосе приурочены Суранское селлаит-флюоритовое месторождение, все известные рудопроявления флюоритов [Ларионов и др., 1985ф], а также Исмакаевское месторождение магнезитов и рудопроявление брейнеритов Богряшка. Багарыштинский разрез лапыштинской подсвиты суранской свиты располагается в этой же полосе север-северо-восточнее в ~15 км от Суранского и в ~35 км от Исмакаевского месторождений.

По современным представлениям [Крупенин и др., 2019] флюиды, образовавшие Fe-магнезиты Исмакаевского месторождения и брейнериты рудопроявления Богряшка, сформировались в результате длительной катагенетической эволюции захороненных эвапоритовых рассолов в сланцевом резервуаре с изменением своего химического состава с высокомагнезиального на железисто-магнезиальный. Изучение флюоритов Суранского месторождения показало, что они имеют сложную историю формирования с несколькими стадиями образования и преобразования и участием флюидов различного происхождения [Крупенин и др., 1999, 2012]. Для прожилково-вкрапленной флюоритовой минерализации во вмещающих доломитах миньякской подсвиты суранской свиты показано формирование за счет перераспределения фтора катагенетическими флюидами бассейна породообразования. Источником флюидов по ряду геохимических индикаторов устанавливаются захороненные эвапоритовые рассолы, а источники фтора могли быть связаны с особенностями седиментации в суранское время, а именно с повышенной соленостью. Зеленые и оптические флюориты генетически связаны с магматогенными флюидами, образовавшимися, скорее всего, при вулканогенно-осадочном накоплении среднерифейских отложений машакской свиты, содержащей кислые эффузивы.

Флюориты Суранского месторождения обладают значительным геохимическим сходством по распределению лантаноидов с карбонатными

метасоматитами Исмакаево и Богряшки. Флюориты формировались близкоодновременно с магнезитами в конце среднего рифея около 1230–1250 млн лет назад (Rb-Sr и Sm-Nd методы) [Крупенин и др., 2012, 2016]. Данные Sm-Nd систематики магнезитов указывают на коровый источник флюидов, ответственных за метасоматические преобразования пород [Крупенин и др., 2016].

Расположение Багарыштинского разреза на одном стратиграфическом уровне с Суранским и Исмакаевским месторождениями и в одной с ними структурной зоне можно косвенно рассматривать в пользу образования метасоматических фторсодержащих минералов в породах разреза в результате синтектонической разгрузки флюидов эвапоритовой природы, претерпевших катагенетическую эволюцию. Источником магния для процесса доломитизации могли выступать эвапоритовые флюиды/рассолы, а других элементов — сланцевые нижеи вышележащие толщи. Фтор в таком случае мог частично поступать из эвапоритовых флюидов/рассолов и большей частью из гидрослюдистых минералов при их перекристаллизации в результате катагенетических и тектонических процессов. По нашему мнению, этот механизм образования фторсодержащих минералов в породах Багарыштинского разреза наиболее вероятен.

Вместе с тем распределение хлора не совсем укладывается в эти представления. Ранее нами установлено [Мичурин и др., 2018б; Казбулатова и др., 2019], что в отложениях нижнего рифея в метасоматических доломитах и магнезитах, по сравнению с известняками, фиксируется увеличение концентраций хлора, обусловленное, на наш взгляд, их образованием из метасоматических эвапоритовых флюидов/рассолов. Показано, что хлор преимущественно находится во флюидных включениях доломитов. В изученном разрезе устанавливается противоположное поведение хлора — известняки в большей степени содержат хлор, чем метасоматические доломиты. Более того, хлор имеет положительную связь только с CaO и кальцитом (коэффициенты корреляции равны соответственно 0.49 и 0.48), со всеми остальными элементами и минералами, в том числе с доломитом, он обнаруживает обратную связь (см. табл. 5). Объяснением этого, возможно, является неоднократное проявление тектонических дислокаций в этой зоне, в результате которых в метасоматических доломитах разреза могло произойти «механическое» разрушение флюидных хлорсодержащих включений.

Выводы

Таким образом, проведенное изучение позволяет сделать следующие выводы.

1. Содержание фтора в породах Багарыштинского разреза, представленных преимущественно низкодоломитовыми и доломитовыми известняками, варьирует от менее 100 до 4080 г/т (среднее 1128 г/т) и в среднем превышает кларковые концентрации в карбонатах в 3 раза, хлора — находится в интервале 50–225 г/т (среднее 107 г/т) и близко к кларку. Между концентрациями F и Cl в породах устанавливается обратная зависимость. Основными фторсодержащими минералами в породах разреза являются флогопит, мусковит и фторапатит, хлор концентрируется только в кальците. Флогопит содержит около 80% фтора, присутствующего в породах.

2. В разрезе количество фторсодержащих минералов в породах увеличивается симбатно с количеством не содержащих F метасоматических минералов (доломита, калиевого полевого шпата, в меньшей степени кварца и альбита) в зоне разрывного нарушения с север-северо-западной стороны. Минеральная ассоциация «флогопит – мусковит – маложелезистый доломит» образовалась в известняках разреза в результате относительно высокотемпературного (350–570 °C) метасоматоза с привносом калиевыми фторидными растворами F, K, Al, Mg, Fe, Ti, Si, P. Наиболее вероятно, что высокие температуры обусловлены значительными тектоническими дислокациями, которые подтверждаются присутствием в разрезе в зоне разрывного нарушения калькмилонитов.

3. Обогащение карбонатных пород Багарыштинского разреза фтором и образование в них синтектонической метасоматической минеральной ассоциации могло произойти в результате либо воздействия фторсодержащих магматогенных флюидов, либо разгрузки флюидов эвапоритовой природы, претерпевших катагенетическую эволюцию. На сегодняшний день в пользу второго сценария имеется больше геологических и геохимических аргументов, однако для окончательного вывода необходимо продолжение исследований с привлечением прецизионных изотопных методов.

Благодарности. Авторы признательны М.Т. Крупенину, С.А. Даниленко и Е.О. Калистратовой за плодотворное обсуждение материалов статьи.

Исследования выполнены в рамках темы № 0246-2016-0085 государственного задания ИГ УФИЦ РАН.

Список литературы:

Авченко, О.В., Вах А.С., Чудненко К.В., Худоложкин В.О. Генезис гранатсодержащих пород березитового месторождения (Верхнее Приамурье, Россия) // Геология рудных месторождений. 2014. Т. 56, № 1, С. 19–40.

Анфимов Л.В. Литогенез в рифейских осадочных толщах Башкирского мегантиклинория (Ю. Урал). Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1997. 290 с.

Анфимов Л.В., Ковальчук А.И. Галогены и бор в карбонатных породах нижнего рифея на Южном Урале // Ежегодник-1979 / ИГиГ УНЦ АН СССР. Свердловск, 1980. С. 95–97.

Анфимов Л.В., Крупенин М.Т., Петрищева В.Г. Микроэлементы и их корреляционное значение в карбонатных породах рифея Башкирского мегантиклинория // Геохимия вулканических и осадочных пород Южного Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1987. С. 47–56.

Биктимерова З.Р., Канипова З.А., Горожанин В.М., Мичурин С.В., Мусина А.М., Захарова А.Г. Литологические и геохимические особенности пород инзерской и миньярской свит верхнего рифея в районе д. Толпарово (Южный Урал) / Геология, геоэкология и ресурсный потенциал Урала и сопредельных территорий: 4-я Всероссийская молодежная геологическая конференция с международным участием. Уфа, 2016. С. 177–182.

Войткевич Г.В., Кокин А.В., Мирошников А.Е., Прохоров В.Г. Справочник по геохимии. М.: Недра, 1990. 476 с.

Генина Л.А. К вопросу о карбонатном метасоматозе в отложениях нижнего рифея Ямантауского антиклинория Южного Урала // Геология докембрия Южного Урала и востока Русской плиты. Уфа: БНЦ УрО АН СССР, 1990. С. 89–96.

Зарайский Г.П. Эксперимент в решении проблем метасоматизма. М.: ГЕОС, 2007. 136 с.

Иванов А.И. К стратиграфии и древнему орогенезу древних свит западного склона Южного Урала // Труды Башкир. геол. треста, 1937. Вып. 7. С. 2–28.

Казбулатова Г.М., Карамова А.М., Мичурин С.В., Султанова А.Г. Распределение фтора и хлора в карбонатных породах большеинзерской и суранской свит нижнего рифея на Южном Урале // Геология, геоэкология и ресурсный потенциал Урала и сопредельных территорий: 7-я Всероссийская молодежная геологическая конференция с международным участием. Уфа, 2019. С. 77–81.

Карамова А.М., Казбулатова Г.М., Мичурин С.В., Захарова А.Г. Фотометрический метод определения фтора в горных породах посредством образования ализаринкомплексоната фторида лантана // Башкирский химический журнал. 2019. Т. 26, № 1. С. 42–47.

Ковалев С.Г., Ковалев С.С., Высоцкий С.И. Торий-редкоземельная минерализация в докембрийских породах Башкирского мегантиклинория: видовое разнообразие и генезис // Записки РМО. 2017. № 5. С. 59–80.

Крупенин М.Т., Мичурин С.В. Индикаторные изотопно-геохимические характеристики сульфидов из Саткинского магнезитового месторождения (Южно-Уральская провинция) // ДАН, 2018. Т. 478, № 3. С. 328–331.

Крупенин М.Т., Прохаска В. Эвапоритовая природа флюидных включений в кристаллических магнезитах саткинского типа // ДАН. 2005. Т. 403, № 5. С. 1–3.

Крупенин М.Т., Меллер П., Дульски П. Редкоземельные и малые элементы во флюоритах и вмещающих доломитах суранской свиты (нижний рифей, Южный Урал) // Геохимия. 1999. № 11. С. 1165–1177.

Крупенин М.Т., Прохаска В., Ронкин Ю.Л. Природа фтора и рудообразующих растворов флюоритового месторождения Суран (Башкирский мегантиклинорий) по данным изучения лантаноидов, флюидных включений и Sr-Nd систематики // Литосфера. 2012. № 5. С. 126–144.

Крупенин М.Т., Кузнецов А.Б., Константинова Г.В. Сравнительная Sr-Nd систематика и распределение РЗЭ в типовых магнезитовых месторождениях нижнего рифея Южно-Уральской провинции // Литосфера. 2016. № 5. С. 58–80.

Крупенин М.Т., Мичурин С.В., Шарипова А.А., Гараева А.А., Замятин Д.А., Гуляева Т.Я. Условия формирования Mg-Fe метасоматичеких карбонатов в нижнерифейских терригенно-карбонатных толщах Южного Урала // Литология и полезные ископаемые. 2019. № 3. С. 262–277.

Маслов А.В., Гареев Э.З. Крупенин М.Т. Осадочные последовательности рифея типовой местности (ретроспективный обзор седиментологических, палеогеографических, литолого-минералогических и петрогеохимических исследований). Уфа: Принт, 1998. 225 с.

Маслов А.В., Крупенин М.Т., Гареев Э.З., Анфимов Л.В. Рифей западного склона Южного Урала. Екатеринбург: Изд-во ИГГ УрО РАН, 2001. Т. 1. 351 с.

Методы минералогических исследований: Справочник / *Под ред. А.И. Гинзбурга*. М.: Недра, 1985. 480 с.

Мичурин С.В., Ковалев С.Г., Горожанин В.М. Генезис сульфатов и сульфидов в нижнерифейских отложениях Камско-Бельского авлакогена и Башкирского мегантиклинория. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2009. 192 с.

Мичурин С.В., Биктимерова З.Р., Канипова З.А., Даниленко С.А. Цинк в карбонатных породах суранской свиты нижнего рифея (Южный Урал) // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий: 10-я Межрегиональная научно-практическая конференция. Уфа: ДизайнПресс, 2014. С. 150–154.

Мичурин С.В., Карамова А.М., Биктимерова З.Р., Казбулатова Г.М. Хлор в карбонатных породах нижнего и верхнего рифея Башкирского мегантиклинория // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов АН РБ. 2018а. № 18. С. 76–90.

Мичурин С.В., Шарипова А.А., Крупенин М.Т., Замятин Д.А., Мусина А.М., Попов В.А. Сульфидная минерализация, самородное золото и его геохимические связи в рифейских отложениях Авзянского рудного района (Южный Урал) // Литосфера. 2018б. Т. 18, № 1. С. 61–81.

Мичурин С.В., Карамова А.М., Казбулатова Г.М., Султанова А.Г., Савельев Д.Е., Горожанин В.М. Фтор в карбонатных породах большеинзерской и суранской свит нижнего рифея на Южном Урале // Геология. Известия отделения наук о Земле и природных ресурсов АН РБ. 2019. № 26 С. 76–87.

Мичурин С.В., Калистратова Е.О., Султанова А.Г., Казбулатова Г.М. Фтор в породах Западно-Акташской рудной зоны (Южный Урал) // Геологический вестник. 2020. № 2. С. 54–71.

Мусина А.М. Мичурин С.В. Определение элементного состава методом ИСП-АЭС при разложении горных пород открытым способом // Геология, геоэкология и ресурсный потенциал Урала и сопредельных территорий: Материалы 4-й Всероссийской молодежной геологической конференции. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 2016. С. 39–44.

Нижний рифей Южного Урала / *В.И. Козлов, А.А. Краснобаев, Н.Н. Ларионов, А.В. Маслов, Н.Д. Сергеева, Е.В. Бибикова, Л.А. Генина, Ю.Л. Ронкин*. М.: Наука, 1989. 208 с.

Парначев В.П. Фтор и хлор в позднедокембрийских осадочных породах Башкирского мегантиклинория в связи с вопросами их седиментогенеза / Геохимия вулканических и осадочных пород Южного Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1987. С. 35–47.

Розова Е.В. К методике измерения коэффициента термоэлектродвижущей силы рудных минералов // Некоторые методы диагностики минералов и определения их физических свойств. М., 1970. С. 45–57. (Труды ЦНИГРИ; Вып. 93).

Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Маслов А.В., Горохов И.М., Овчинникова Г.В. Стратотип нижнего рифея – бурзянская серия Южного Урала: литостратиграфия, палеонтология, геохронология, Sr- и C-изотопные характеристики карбонатных пород // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2009. Т. 17, № 6. С. 17–45.

Султанова А.Г., Мичурин С.В., Карамова А.М., Казбулатова Г.М., Савельев Д.Е., Горожанин В.М. Фторсодержащие минералы в нижнерифейских отложениях Ямантауского антиклинория (Южный Урал) // Геология, геоэкология и ресурсный потенциал Урала и сопредельных территорий: 7-я Всероссийская молодежная геологическая конференция с международным участием (23–27сентября 2019 г., г. Уфа). Уфа, 2019. С. 113–118.

Толкачикова А.А., Солодилова В.В., Аксаментова Н.В., Завадич Н.С., Гуринович М.П. Минералогия пород рудоносного Новоселковского массива // Літасфера. 2015. Вып. 42, № 1. С. 45–63.

Хализова В.А., Полупанова Л.И., Бебешко Г.И., Алексеева А.Я., Гельман Е.М. Инструкция НСАМ 139-Х. Химические методы. Фотометрический метод определения фтора в горных породах, минералах и растворах по реакции образования ализаринкомплексоната фторида церия. М., 1976. 25 с.

Широбокова Т.И. Фтор и хлор в породах Кужинского месторождения // Ежегодник-1988 / ИГиГ УрО АН СССР. Свердловск, 1989. С. 103–104.

Широбокова Т.И. Стратиформное полиметаллическое и баритовое оруденение Урала. Свердловск: УрО АН СССР, 1992. 137 с.

Юдович Я.Э., Кетрис М.П., Рыбина Н.В. Геохимия фосфора. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2020. 512 с.

Chambers J.A., Kohn M.J. Titanium in muscovite, biotite, and hornblende: Modeling, thermometry, and rutile activities of metapelites and amphibolites //American Mineralogist. 2012. Vol. 97, No. 4. P. 543–555.

Henry D.J., Guidotti C.V., Thomson J. The Ti-saturation surface for low-to-medium pressure metapelitic biotites: Implications for geothermometry and Ti-substitution mechanisms // American Mineralogist. 2005. Vol. 90, No. 2–3. P. 316–328.

Möller P., Kersten G. Electrochemical accumulation of visible gold on pyrite and arsenopyrite surface // Mineral. Deposita, 1994. Vol. 29. P. 404–413.

Tajčmanová L., Connolly A.D., Cesare B. A thermodynamic model for titanium and ferric iron solution in biotite // J. metamorphic geol., 2009. Vol. 27. P. 153–165.

Wu C.M., Chen H.X. Calibration of a Ti-in-muscovite geothermometer for ilmenite- and Al2SiO5-bearing metapelites // Lithos. 2015. Vol. 212–215. P. 122–127.

References:

Avchenko, O.V., Vah A.S., Chudnenko K.V., Hudolozhkin V.O. (2014) Genesis of garnet-bearing rocks of the berezite deposit (Upper Amur region, Russia). *Geologiya rudnyh mestorozhdenii – Geology of Ore Deposits*, **56**(1), 19-40. (In Russian).

Anfimov L.V. (1997) *Litogenez v rifeiskih osadochnyh tolshhah Bashkirskogo megantiklinoriya (Yu. Ural)* [Lithogenesis in the Riphean sedimentary strata of the Bashkir meganticlinorium (South Urals)]. Ekaterinburg: UrO RAN Publ., 290 p. (In Russian).

Anfimov L.V., Koval'chuk A.I. (1980) Halogens and boron in the carbonate rocks of the Lower Riphean in the Southern Urals. *Ezhegodnik-1979. In-t geologii i geohimii UNC AN SSSR* [Yearbook 1979. Institute of Geology and Geochemistry, USC AS USSR]. Sverdlovsk, 95-97. (In Russian).

Anfimov L.V., Krupenin M.T., Petrishheva V.G. (1987) Microelements and their correlation value in the carbonate rocks of the Riphean of the Bashkir meganticlinorium. *Geohimiya vulkanicheskih i osadochnyh porod Yuzhnogo Urala* [Geochemistry of volcanic and sedimentary rocks of the Southern Urals]. Sverdlovsk, UNC AN SSSR Publ., 47-56. (In Russian).

Biktimerova Z.R., Kanipova Z.A., Gorozhanin V.M., Michurin S.V., Musina A.M., Zaharova A.G. (2016) Lithological and geochemical features of rocks of the Inzer and Minyar formations of the Upper Riphean near the village of Tolparovo (South Urals). *Geologiya, geoyekologiya i resursnyi potencial Urala i sopredel'nyh territorii. 4-ya Vserossiiskaya molodyozhnaya geologicheskaya konferenciya s mezhdunarodnym uchastiem* [Geology, geoecology and resource potential of the Urals and adjacent territories: 4th All-Russian youth geological conference with international participation]. Ufa, 177-182. (In Russian).

Chambers J. A., Kohn M. J. (2012) Titanium in muscovite, biotite, and hornblende: Modeling, thermometry, and rutile activities of metapelites and amphibolites. *American Mineralogist*, **97**(4), 543-555.

Genina L.A. (1990) On the issue of carbonate metasomatism in the Lower Riphean sediments of the Yamantau anticlinorium of the Southern Urals. *Geologiya dokembriya Yuzhnogo Urala i vostoka Russkoi plity* [Precambrian geology of the

South Urals and the east of the Russian plate]. Ufa, BNC UrO AN SSSR, 89-96. (In Russian).

Halizova V.A., Polupanova L.I., Bebeshko G.I., Alekseeva A.Ya., Gel'man E.M. (1976) *Instrukciya NSAM 139-H. Himicheskie metody. Fotometricheskii metod opredeleniya ftora v gornyh porodah, mineralah i rastvorah po reakcii obrazovaniya alizarinkompleksonata ftorida ceriya* [Instruction NSAM 139-X. Chemical methods. Photometric method for the determination of fluorine in rocks, minerals and solutions by the reaction of the formation of cerium fluoride alizarin complexonate]. Moscow, 25 p. (In Russian).

Henry D.J., Guidotti C.V., Thomson J. (2005) The Ti-saturation surface for low-to-medium pressure metapelitic biotites: Implications for geothermometry and Ti-substitution mechanisms. *American Mineralogist*, **90**(2-3), 316-328.

Ivanov A.I. (1937) On stratigraphy and ancient orogeny of ancient formations on the western slope of the Southern Urals]. *Trudy Bashkir. geol. tresta* [Proceedings of the Bashkir Geological Trust], Issue 7, 2-28. (In Russian).

Karamova A.M., Kazbulatova G.M., Michurin S.V., Zaharova A.G. (2019) Photometric method for the determination of fluorine in rocks through the formation of lizane fluoride alizarin complexonate. *Bashkirskii himicheskii zhurnal – Bashkir Chemical Journal*. **26**(1), 42-47. (In Russian).

Kazbulatova G.M., Karamova A.M., Michurin S.V., Sultanova A.G. (2019) Distribution of fluorine and chlorine in carbonate rocks of the Bolsheinzerskaya and Suran formations of the Lower Riphean in the South Urals. *Geologiya, geoyekologiya i resursnyi potencial Urala i sopredel'nyh territorii. 7-ya Vserossiiskaya molodyozhnaya geologicheskaya konferenciya s mezhdunarodnym uchastiem* [Geology, geoecology and resource potential of the Urals and adjacent territories. 7th All-Russian youth geological conference with international participation]. Ufa, 77-81. (In Russian).

Kovalev S.G., Kovalev S.S., Vysockii S.I. (2017) Thorium-rare earth mineralization in the Pre-Cambrian rocks of the Bashkirian meganticlinorium: species diversity and genesis. *Zapiski RMO – Notes of the Russian Mineralogical Society*, (5), 59-80. (In Russian).

Krupenin M.T., Michurin S.V. (2018) Indicator isotope-geochemical characteristics of sulfides from the Satka magnesite deposit (South Ural province). *Dokl. Akad. Nauk*, **478**(3), 328-331. (In Russian).

Krupenin M.T., Prohaska V. (2005) Evaporite nature of fluid inclusions in crystalline magnesites of the Satka type. *Dokl. Akad. Nauk*, 403(5), 1-3. (In Russian).

Krupenin M.T., Meller P., Dul'ski P. (1999) Rare earth and trace elements in fluorites and host dolomites of the Suran Formation (Lower Riphean, South Urals). *Geohimiya*, (11), 1165-1177. (In Russian).

Krupenin M.T., Prohaska V., Ronkin Yu.L. (2012) The nature of fluorine and ore-forming solutions of the fluorite deposit Suran (Bashkir meganticlinorium) according to the study of lanthanides, fluid inclusions and Sr-Nd systematics. *Litosfera*, (5), 126-144. (In Russian).

Krupenin M.T., Kuznecov A.B., Konstantinova G.V. (2016) Comparative Sr-Nd systematics and REE distribution in typical magnesite deposits of the Lower Riphean of the South Ural province. *Litosfera*, (5), 58-80. (In Russian).

Krupenin M.T., Michurin S.V., Sharipova A.A., Garaeva A.A., Zamyatin D.A., Gulyaeva T.Ya. (2019) Formation Conditions of Ferromagnesian Metasomatic Carbonates in the Lower Riphean Terrigenous–Carbonate Rocks of the Southern Urals. *Lithology and Mineral Resources*. 54(3), 248–261.

Maslov A.V., Gareev E.Z. Krupenin M.T. (1998) *Osadochnye posledovatel'nosti rifeya tipovoi mestnosti (retrospektivnyi obzor sedimentologicheskih, paleogeograficheskih, litologo-mineralogicheskih i petrogeohimicheskih issledovanii)* [Sedimentary sequences of the Riphean type area (retrospective review of sedimentological, paleogeographic, lithological-mineralogical and petrogeochemical studies)]. Ufa, Print Publ., 225 p. (In Russian).

Maslov A.V., Krupenin M.T., Gareev E.Z., Anfimov L.V. (2001) *Rifei zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala. T. 1.* [Riphean of the western slope of the Southern Urals. Vol. 1]. Ekaterinburg, IGG UrO RAN Publ., 351 p. (In Russian).

Metody mineralogicheskih issledovanii (1985) [Mineralogical research methods. Ed. A.I. Ginzburg]. Moscow, Nedra Publ., 480 p. (In Russian).

Michurin S.V., Kovalev S.G., Gorozhanin V.M. (2009) *Genezis sul'fatov i sul'fidov v nizhnerifeiskih otlozheniyah Kamsko-Bel'skogo avlakogena i Bashkirskogo megantiklinoriya* [Genesis of sulfates and sulfides in the Lower Riphean deposits of the Kama-Belsk aulacogen and the Bashkirian meganticlinorium]. Ufa, DizainPoligrafServis Publ., 192 p. (In Russian).

Michurin S.V., Biktimerova Z.R., Kanipova Z.A., Danilenko S.A. (2014) Zinc in carbonate rocks of the Lower Riphean Suran suite (South Urals). *Geologiya, poleznye iskopaemye i problemy geoyekologii Bashkortostana, Urala i sopredel'nyh territorii. 10-ya Mezhregional'naya nauchno-prakticheskaya konferenciya* [Geology, minerals and problems of geoecology of Bashkortostan, the Urals and adjacent territories. 10th Interregional scientific and practical conference]. Ufa, DizainPress, 150-154. (In Russian).

Michurin S.V., Karamova A.M., Biktimerova Z.R., Kazbulatova G.M. (2018a) Chlorine in the carbonate rocks of the lower and upper Riphean of the Bashkir meganticlinorium. Geologiya. *Izvestiya Otdeleniya nauk o Zemle i prirodnyh resursov AN RB – Geology. Bulletin of the Department of Earth Sciences and Natural Resources of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortodtan*, (18), 76-90. (In Russian).

Michurin S.V., Sharipova A.A., Krupenin M.T., Zamyatin D.A., Musina A.M., Popov V.A. (2018b) Sulfide mineralization, native gold and its geochemical relationships in the Riphean sediments of the Avzyan ore region (South Ural). *Litosfera*, **18**(1), 61-81. (In Russian).

Michurin S.V., Karamova A.M., Kazbulatova G.M., Sultanova A.G., Savel'ev D.E., Gorozhanin V.M. (2019) Fluorine in carbonate rocks of the Bolsheinzerskaya and Suran formations of the Lower Riphean in the Southern Urals. *Geologiya. Izvestiya Otdeleniya nauk o Zemle i prirodnyh resursov AN RB – Geology. Bulletin of the Department of Earth Sciences and Natural Resources of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortodtan*, (26) 76-87. (In Russian).

Michurin S.V., Kalistratova E.O., Sultanova A.G., Kazbulatova G.M. (2020) Fluorine in the rocks of the West Aktash

ore zone (South Urals). *Geologicheskii vestnik – Geological Bulletin*. (2), 54-71. (In Russian).

Möller P., Kersten G. (1994) Electrochemical accumulation of visible gold on pyrite and arsenopyrite surface. *Mineral. Deposita*, **29**, 404-413.

Musina A.M. Michurin S.V. (2016) Determination of the elemental composition by the ICP-AES method during the decomposition of rocks by the open method. *Geologiya, geoyekologiya i resursnyi potencial Urala i sopredel'nyh territorii. Materialy 4-oi Vserossiiskoi molodezhnoi geologicheskoi konferencii* [Geology, geoecology and resource potential of the Urals and adjacent territories. Materials of the 4th All-Russian youth geological conference]. Ufa, IG UNC RAN Publ., 39-44. (In Russian).

Nizhnii rifei Yuzhnogo Urala (1989) [Lower Riphean of the Southern Urals] (V.I. Kozlov, A.A. Krasnobaev, N.N. Larionov, A.V. Maslov, N.D. Sergeeva, E.V. Bibikova, L.A. Genina, Yu.L. Ronkin). Moskow, Nauka Publ., 208 p. (In Russian).

Parnachev V.P. (1987) Fluorine and chlorine in the Late Precambrian sedimentary rocks of the Bashkir meganticlinorium in connection with issues of their sedimentogenesis. *Geohimiya vulkanicheskih i osadochnyh porod Yuzhnogo Urala* [Geochemistry of volcanic and sedimentary rocks of the Southern Urals]. Sverdlovsk, UNTs AN SSSR, 35-47. (In Russian).

Rozova E.V. (1970) To the method of measuring the coefficient of thermoelectromotive force of ore minerals. *Nekotorye metody diagnostiki mineralov i opredeleniya ih fizicheskih svoistv. Trudy CNIGRI. Vyp. 93* [Some methods for diagnosing minerals and determining their physical properties. (Proceedings of TsNIGRI, Issue 93)]. Moscow, 45-57. (In Russian).

Semihatov M.A., Kuznecov A.B., Maslov A.V., Gorohov I.M. & Ovchinnikova G.V. (2009) Stratotype of the Lower Riphean, the Burzyan Group of the Southern Urals: Lithostratigraphy, paleontology, geochronology, Sr- and C-isotopic characteristics of its carbonate rocks. *Stratigraphy and Geological Correlation*. **17**(6), 574-601.

Shirobokova T.I. (1989) [Fluorine and chlorine in the rocks of the Kuzhinsky deposit. *Ezhegodnik-1988. In-t geologii i geohimii UrO AN SSSR* [Yearbook-1988. IGiG Ural Branch of the USSR Academy of Sciences]. Sverdlovsk, 103-104. (In Russian).

Shirobokova T.I. (1992) *Stratiformnoe polimetallicheskoe i baritovoe orudenenie Urala* [Stratiform polymetallic and barite mineralization of the Urals]. Sverdlovsk, UrO AN SSSR, 137 p. (In Russian).

Sultanova A.G., Michurin S.V., Karamova A.M., Kazbulatova G.M., Savel'ev D.E., Gorozhanin V.M. (2019) Fluorine-containing minerals in the Lower Riphean deposits of the Yamantau anticlinorium (South Urals). *Geologiya, geoyekologiya i resursnyi potencial Urala i sopredel'nyh territorii. 7-ya Vserossiiskaya molodyozhnaya geologicheskaya konferenciya s mezhdunarodnym uchastiem* [Geology, geoecology and resource potential of the Urals and adjacent territories: 7th All-Russian youth geological conference with international participation]. Ufa, 113-118. (In Russian).

Tajčmanová L., Connolly A.D.,Cesare B. (2009) A thermodynamic model for titanium and ferric iron solution in biotite. *J. metamorphic geol*., **27**, 153-165.

Tolkachikova A.A., Solodilova V.V., Aksamentova N.V., Zavadich N.S., Gurinovich M.P. (2015) Mineralogy of rocks of the ore-bearing Novoselkovsky massif. *Litasfera*, **42**(1), 45-63. (In Russian).

Voitkevich G.V, Kokin A.V., Miroshnikov A.E., Prohorov V.G. (1990) *Spravochnik po geohimii* [Geochemistry Handbook]. Moscow, Nedra Publ., 476 p. (In Russian).

Wu C.M., Chen H.X. (2015) Calibration of a Ti-in-muscovite geothermometer for ilmenite- and Al2SiO5-bearing metapelites. *Lithos*, **212-215**, 122-127.

Yudovich Ya.Ye., Ketris M.P., Rybina N.V. (2020) *Geohimiya fosfora* [Phosphorus geochemistry]. Syktyvkar, IG Komi NC UrO RAN, 512 p. (In Russian).

Zaraiskii G.P. (2007) *Yeksperiment v reshenii problem metasomatizma* [An experiment in solving the problems of metasomatism]. Moscow, GEOS Publ., 136 p. (In Russian).

Сведения об авторах:

Мичурин Сергей Васильевич, канд. геол.-мин. наук, Институт Геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: s_michurin@mail ru

Султанова Анна Геннадиевна, Институт Геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: anna_zakharova.ig@mail ru

Казбулатова Гульфия Мавлетовна, Институт Геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа, E-mail: kazbulatova@mail ru

Шарипова Айсылу Азатовна, Институт Геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: aysyluazatovna@mail.ru

Савельев Дмитрий Евгеньевич, доктор геол.-мин. наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г.Уфа, E-mail: savl71@mail ru

Горожанин Валерий Михайлович, канд. геол.-мин. наук, Институт Геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: Gorozhanin@ufaras.ru
Карамова Алсу Мусаевна, кандидат техн. наук, Институт Геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН); доцент, Башкирский государственный университет, г. Уфа. E-mail: alsu.2013@bk.ru
Войкина Залия Азатовна, Институт Геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: Zaliya.Kanipova@mail.ru

About the authors:

Michurin Sergey Vasilyevich, candidate of geological and mineralogical sciences, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: s_michurin@mail ru
Sultanova Anna Gennadievna, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: anna_zakharova.ig@mail ru
Kazbulatova Gulfiya Mavletovna, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: kazbulatova@mail ru
Sharipova Aisylu Azatovna, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: aysyluazatovna@mail ru
Saveliev Dmitry Evgenievich, doctor of geological and mineralogical sciences, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: savl71@mail ru
Gorozhanin Valery Michailovich, candidate of geological and mineralogical sciences, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: Gorozhanin@ufaras ru
Karamova Alsu Musaevna, candidate of technical sciences, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS); Associate Professor, Bashkir State University, Ufa. E-mail: alsu.2013@bk.ru
Voikina Zaliya Azatovna, junior researcher, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: Zaliya.Kanipova@mail.ru