

УДК 550.42

DOI: 10.31084/2619-0087/2021-1-8

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД НИЖНЕЙ ПОДСВИТЫ ИНЗЕРСКОЙ СВИТЫ ВЕРХНЕГО РИФЕЯ В РАЙОНЕ Д. ТОЛПАРОВО (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

С. В. Мичурин, З. Р. Биктимерова, Г. М. Казбулатова, В. М. Горожанин,
А. Г. Султанова, А. М. Карамова, З. А. Войкина, А. А. Шарипова

*Институт геологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН,
450077, г. Уфа, ул. К. Маркса, 16/2, E-mail: s_michurin@mail.ru*

Изучены минералогические и геохимические особенности карбонатных пород нижней подсвиты инзерской свиты верхнего рифея в двух обнажениях по р. Зилим в центральной части Алатауского антиклинория. Породы разрезов представлены доломитоносными, низкодоломитовыми и доломитовыми известняками. Доломитизация известняков в обоих обнажениях закономерно увеличивается от подошвы к кровле подсвиты и вместе с тем с запада на восток по направлению к субмеридиональному региональному разрывному нарушению. В породах, по-видимому, проявлена как раннедиагенетическая доломитизация, так и эпигенетическая с образованием средне-, крупнокристаллического доломита, развитого по синтетектоническим трещинам. Содержания в породах фтора варьируют от менее 50 до 649 г/т (среднее 161 г/т), хлора — от 58 до 166 г/т (среднее 103 г/т). Фтор обнаруживает наиболее сильные геохимические связи с SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , TiO_2 , P_2O_5 , хлор — с MgO , MnO , Fe_2O_3 . Главными минералами-концентраторами F являются мусковит и апатит, Cl — эпигенетический доломит. В отдельных интервалах одного из изученных разрезов выявлено обогащение пород F (444–649 г/т) и Sr (1221 г/т), содержания которых превышают кларковые в 1.5–2 раза. Локальное накопление фтора и стронция или могло быть связано с кратковременными эпизодами седиментации, близкой к эвапоритовой, или являться результатом воздействия флюидов эвапоритовой природы.

Ключевые слова: фтор, хлор, известняк, инзерская свита, верхний рифей, Башкирский мегантиклинорий

MINERALOGICAL AND GEOCHEMICAL FEATURES OF CARBONATE ROCKS OF THE LOWER SUBFORMATION OF INZER FORMATION OF THE UPPER RIPHEAN IN THE AREA OF TOLPAROVO VILLAGE (SOUTH URALS)

S. V. Michurin, Z. R. Biktimerova, G. M. Kazbulatova, V. M. Gorozhanin,
A. G. Sultanova, A. M. Karamova, Z. A. Voikina, A. A. Sharipova

*Institute of Geology, Ufa Federal Research Center of RAS, 16/2, K. Marx St., Ufa, 450077,
Russia, E-mail: s_michurin@mail.ru*

The mineralogical and geochemical features of carbonate rocks of the lower subformation of Inzer Formation of the Upper Riphean were studied in two outcrops along the river Zilim in the central part of the Alatau anticlinorium. The rocks of the sections are represented by dolomite-bearing, low dolomitic

Для цитирования: Мичурин С.В., Биктимерова З.Р., Казбулатова Г.М., Горожанин В.М., Султанова А.Г., Карамова А.М., Войкина З.А., Шарипова А.А. Минералогические и геохимические особенности карбонатных пород нижней подсвиты инзерской свиты верхнего рифея в районе д. Толпарово (Южный Урал) // Геологический вестник. 2021. № 1. С. 80–97. DOI: 10.31084/2619-0087/2021-1-8.

For citation: Michurin S.V., Biktimerova Z.R., Kazbulatova G.M., Gorozhanin V.M., Sultanova A.G., Karamova A.M., Voikina Z.A., Sharipova A.A. (2021) Mineralogical and geochemical features of carbonate rocks of the lower subformation of Inzer Formation of the Upper Riphean in the area of Tolparovo village (South Urals). *Geologicheskii vestnik*. No. 1. P. 80–97. DOI: 10.31084/2619-0087/2021-1-8.

and dolomitic limestones. Dolomitization of limestones in both outcrops naturally increases with the growth of the stratigraphic column towards the top of the subformation and at the same time, from west to east towards the submeridional regional fault. In the rocks apparently both early diagenetic dolomitization and epigenetic with the formation of medium- and coarse-crystalline dolomite developed along syntectonic fractures are manifested. The content of fluorine in rocks varies from less than 50 to 649 g/t (average 161 g/t), chlorine from 58 to 166 g/t (average 103 g/t). Fluorine reveals the strongest geochemical bonds with SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , TiO_2 , P_2O_5 , chlorine with MgO , MnO , Fe_2O_3 . The main mineral concentrators of F are muscovite and apatite and Cl is epigenetic dolomite. In some intervals of one of the studied sections the enrichment of rocks in F (444–649 ppm) and Sr (1221 ppm) was revealed, which exceeds the clark by 1.5–2 times. The local accumulation of fluorine and strontium could be associated either with short-term episodes of sedimentation close to evaporite, or be the result of the action of evaporite fluids.

Keywords: fluorine, chlorine, limestone, Inzer Formation, Upper Riphean, Bashkir meganticlinorium

Введение

В настоящей статье приводятся результаты продолжающихся исследований литологических, минералогических и геохимических особенностей карбонатных пород в рифейских отложениях Башкирского мегантиклинория. Как и в предыдущих публикациях [Мичурин и др., 2018а, 2019, 2020а, 2020б; Казбулатова и др., 2019; Султанова и др., 2019], главное внимание в ней уделяется закономерностям поведения элементов-галогенов — фтора и хлора. В осадочных терригенных и карбонатных породах в ряде разрезов Башкирского мегантиклинория ранее установлены их сравнительно высокие содержания, иногда превышающие кларковые в несколько раз, что объясняется эвапоритовым типом осадконакопления в определенные промежутки рифейского времени [Анфимов, Ковальчук, 1980; Парначев, 1987; Анфимов и др., 1987; Широбокова, 1989, 1992]. По современным представлениям с циркуляцией метасоматических флюидов эвапоритового происхождения связывается формирование в нижне- и среднерифейских отложениях Башкирского мегантиклинория многих полезных ископаемых, в частности, залежей железисто-магнезиальных карбонатов — магнетитов, сидеритов, анкеритов [Крупенин, Прохаска, 2005; Крупенин, Мичурин, 2018; Крупенин и др., 2019].

Выбор в качестве объекта изучения карбонатных пород нижней подсвиты инзерской свиты верхнего рифея в районе д. Толпарово обусловлен, с одной стороны, слабой степенью их катагенетических изменений, с другой стороны, тем, что они представляют собой известняки с очень низким содержанием силикокластической примеси, не превышающей, как правило, 4–5 мас. % [Кузнецов и др., 2006].

Геологическое положение изученных разрезов

Исследования проводились в Алатауском антиклинории, в юго-западной части Башкирского мегантиклинория. Антиклинорий имеет сложное строение. В нем обнажаются породы верхнего рифея и венда [Стратотип рифея, 1983]. Разрезы подинзерских известняков в бассейне р. Зилим хорошо обнажены. Их мощность в районе д. Толпарово составляет около 250 м [Маслов, 1988].

Инзерская свита фациально неоднородна и ее разрезы в восточных и западных частях Башкирского мегантиклинория существенно различаются. В восточных разрезах она представлена пачками переслаивания полевошпат-кварцевых и кварцевых песчаников, алевролитов, часто с глауконитом, и аргиллитов. В западных разрезах свита сложена преимущественно известняками и доломитами, нередко содержащими строматолиты и микрофитолиты. Почти во всех разрезах Алатауского и Каратауского антиклинориев в низах инзерской свиты выделяют подинзерские слои (нижняя подсвита инзерской свиты), которые представлены преимущественно карбонатными породами, и только в некоторых разрезах в основании их обособляется алевропелитовая пачка мощностью от 20 до 100 м [Маслов, 1988].

Нами изучено два разреза нижней подсвиты инзерской свиты, один из которых располагается по левому берегу р. Зилим («южный» разрез) примерно в 3.5–4 км выше по течению от д. Толпарово (рис. 1), другой — по правому берегу р. Зилим («северный» разрез) приблизительно в 0.5 км ниже по течению. Терригенные породы (песчаники, алевролиты, глинистые сланцы), залегающие в основании типового разреза инзерской свиты на р. Малый Инзер, здесь отсутствуют.

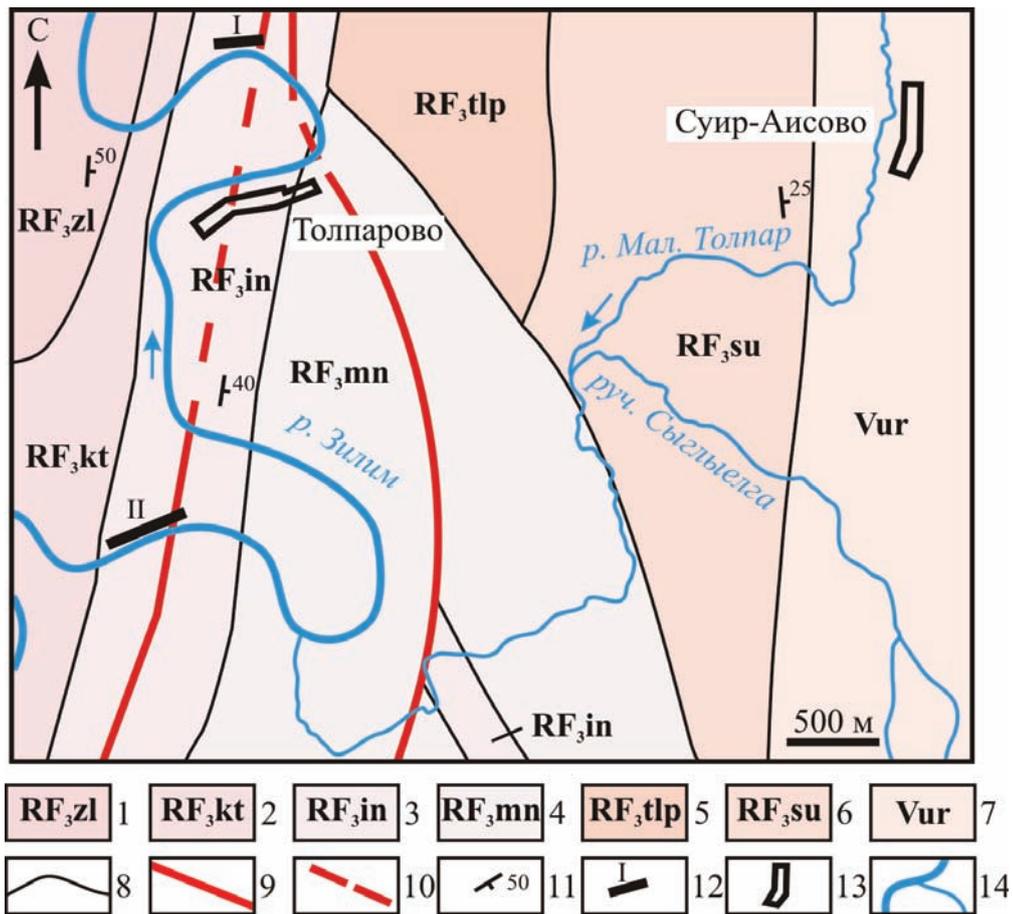


Рис. 1. Фрагмент геологической карты центральной части Алатауского антиклинория (по Г.Б. Яковлеву [1961ф]) и положение изученных разрезов нижней подсвиты инзерской свиты

Условные обозначения: 1–6 — свиты верхнего рифея: 1 — зильмердакская, 2 — катавская, 3 — инзерская, 4 — миньярская, 5 — толпаровская, 6 — суировская; 7 — урюкская свита венда; 8 — границы свит; 9–10 — разрывные нарушения: 9 — достоверные, 10 — предполагаемые; 11 — элементы залегания горных пород; 12 — изученные разрезы нижней подсвиты инзерской свиты: I — «северный» разрез по правому берегу р. Зилим в ~0.5 км ниже по течению от д. Толпарово, II — «южный» разрез по левому берегу р. Зилим в 3.5–4 км выше по течению от д. Толпарово; 13 — населенные пункты; 14 — реки.

Fig. 1. Fragment of the geological map of the central part of the Alatau anticlinorium (according to G.B. Yakovlev [1961ф]) and the position of the studied sections of the lower subformation of Inzer formation

Legend: 1–6 — Upper Riphean formations: 1 — Zilmerdak, 2 — Katav, 3 — Inzer, 4 — Minyar, 5 — Tolparovo, 6 — Suirovo, 7 — Vendian Uryuk Formation; 8 — the boundaries of the formations; 9–10 — breaking violations: 9 — reliable, 10 — suspected; 11 — dip and strike of rocks; 12 — studied sections of the lower subformation of Inzer Formation: I — “northern” section along the right bank of the Zilim river ~0.5 km downstream from the Tolparovo village, II — “southern” section along the left bank of the Zilim river, 3.5–4 km upstream of the Tolparovo village; 13 — settlements; 14 — rivers.

Описание литологических особенностей карбонатных пород «северного» разреза приводится по [Маслов и др., 2001]. Породы разделяются на несколько пачек (рис. 3). Пачка 1 представлена тонко- и среднеплитчатыми массивными и/или тонкослоистыми темно-серыми пелитоморфно-тонкокristаллическими известняками, преимущественно с ровными поверхностями напластования. В пачке 2 появляются редкие прослои плоскообломочных карбонатных брекчий с субпараллельной

и иногда веерообразной ориентировкой обломков. Пачки 3 и 4 также слагаются преимущественно тонкоплитчатыми темноокрашенными известняками. Пачка 5 объединяет темно-серые и буровато-серые неотчетливо полосчатые пелитоморфно-тонкокristаллические известняки с интенсивно развитыми molar tooth текстурами. Особенностью разрезов в районе д. Толпарово являются многочисленные знаки ряби различного размера и формы. Согласно наблюдениям указанных исследователей,

в породах «северного» разреза (пачки 3 и 4, см. рис. 3) на поверхностях напластования наряду с обычной по размерам рябью присутствует микро-рябь, покрывающая участки площадью в несколько дм^2 . В перпендикулярном к напластованию сечении знаки ряби дают хорошо выраженную волнистую слоистость, подчеркнутую тончайшими глинистыми и глинисто-карбонатными пленками, выше и ниже которых не отмечается изменения зернистости известняков.

Rb-Sr изотопный возраст раннедиагенетического иллита из глинистых сланцев инзерской свиты составляет 803–836 млн лет [Горохов и др., 2019]. Время раннего диагенеза в известняках нижней подсвиты инзерской свиты (Pb-Pb метод) оценивается в 836 ± 25 млн лет [Овчинникова и др., 1998].

Методы исследования

В разрезах пошагово отобрано 33 образца (см. рис. 2 и 3): 1) по левому берегу р. Зилим в 3.5–4 км выше по течению от д. Толпарово («южный» разрез) — 20 образцов (полевые исследования 2012 г.); 2) по правому берегу р. Зилим в ~0.5 км ниже по течению («северный» разрез) — 13 образцов (поле-

вые исследования 2015 г.). Расстояние между точками отбора варьировало от 0.5–1 до 50 м, в большинстве случаев составляя примерно 10–20 м.

Содержание фтора определяли как среднее из 2–6 измерений фотометрическим методом посредством образования ализаринкомплексоната фторида лантана на фотометре КФК-3-01 с использованием в каждом единичном измерении двух стандартных образцов с известным содержанием фтора, аналитик Г.М. Казбулатова. 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 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , K_2O , SO_2 , Cl , V , Co , Ni , Cu , Zn , Rb , Sr , Zr , Pb) определяли рентгенофлуоресцентным анализом (РФА), аналитики А.М. Карамова, З.Р. Биктимерова. Анализ проводился на спектрометре VRA-30 (Германия) (Cr- и W-анод, 40 кВ, 30 мА). Пробы весом 5 г со связующим веществом (5 капель поливинилового спирта) прессовались при давлении 25–27 т/см² на подложке из борной кислоты. Предел обнаружения при измерении SiO_2 , Al_2O_3 составлял

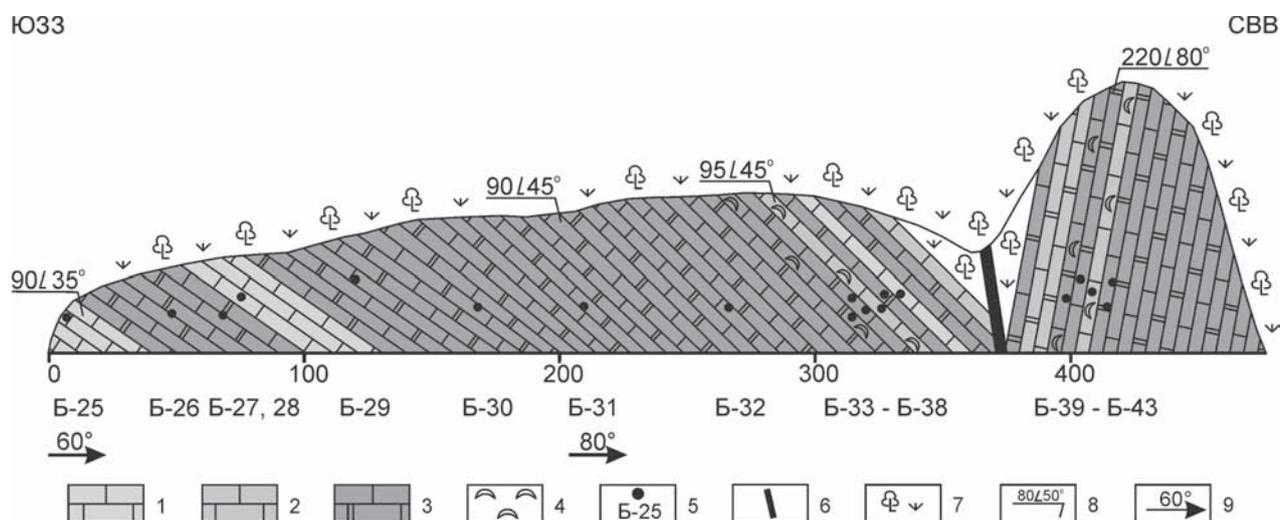


Рис. 2. Разрез нижней подсвиты инзерской свиты по левому берегу р. Зилим выше по течению от д. Толпарово («южный» разрез) и положение точек отбора проб

Условные обозначения: 1 — известняки доломитоносные с содержанием доломита менее 5%; 2 — известняки низкодоломитовые с содержанием доломита 5–10%; 3 — известняки доломитовые с содержанием доломита 10–43%; 4 — строматолиты; 5 — места отбора проб и их номера; 6 — разрывное нарушение; 7 — задернованные участки; 8 — элементы залегания пород; 9 — направление линии разреза.

Fig. 2. Section of the lower subformation of Inzer Formation along the left bank of Zilim river upstream of Tolparovo village («southern» section) and the location of sampling points

Legend: 1 — limestones with a dolomite content of less than 5%; 2 — dolomitic limestones with a dolomite content of 5–10%; 3 — dolomitic limestone with a dolomite content of 10–43%; 4 — stromatolites; 5 — sampling sites and their numbers; 6 — fault; 7 — turf areas; 8 — elements of bedding of rocks; 9 — the direction of the section.

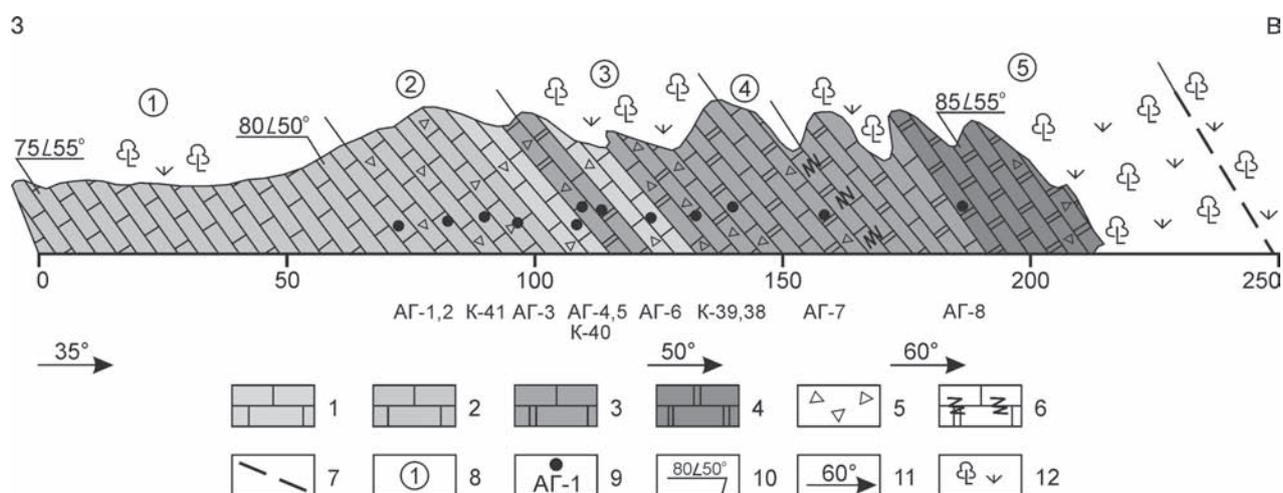


Рис. 3. Разрез нижней подсвиты инзерской свиты (по [Маслов и др., 2001]) по правому берегу р. Зилим ниже по течению от д. Толпарово («северный» разрез) и положение точек отбора проб

Условные обозначения: 1 — известняки с содержанием доломита менее 5%; 2 — известняки доломитонесные с содержанием доломита 5–10%; 3 — известняки доломитовые с содержанием доломита 10–35%; 4 — доломиты кальцитовые с содержанием кальцита 10–50%; 5 — синседиментационные плоскообломочные брекчи; 6 — известняки доломитовые с molar tooth текстурами; 7 — разрывное нарушение; 8 — номер пачки по [Маслов и др., 2001]; 9 — места отбора проб и их номера; 10 — элементы залегания пород; 11 — направление линии разреза; 12 — задернованные участки.

Fig. 3. Section of the lower subformation of Inzer Formation (according to [Maslov et al., 2001]) along the right bank of Zilim river downstream of Tolparovo village (the «northern» section) and the location of sampling points

Legend: 1 — limestones with a dolomite content of less than 5%; 2 — dolomitic limestones with a dolomite content of 5–10%; 3 — dolomitic limestone with a dolomite content of 10–35%; 4 — calcite dolomites with a calcite content of 10–50%; 5 — syndimentary flat-clastic breccias; 6 — dolomitic limestones with molar tooth structures; 7 — fault; 8 — pack number according to [Maslov et al., 2001]; 9 — sampling sites and their numbers; 10 — elements of bedding of rocks; 11 — the direction of the section line; 12 — turf areas.

0.1 мас. %; MgO — 0.3 мас. %; TiO₂, Fe₂O₃, MnO, CaO, K₂O — 0.01 мас. %; SO₂ — 0.005 мас. %; Cl — 20 г/т; V, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Zr — 5–10 г/т.

Параллельно рентгенофлуоресцентному анализу содержания в пробах MgO определяли титриметрическим методом, Na₂O — методом пламенной фотометрии, аналитик С.А. Ягудина. Предел обнаружения при измерении этих оксидов составлял 0.1 мас. %.

Атомно-эмиссионный анализ с индуктивно связанной плазмой (ИСП АЭС) с определением петрогенных (Na, Mg, Al, P, Ca, Ti, Mn, Fe) и редких (Li, Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Sr, Y, Zr, Pb) элементов проводили в АО «ИНХП» (Уфа) на спектрометре ICPE-9000 (Shimadzu, Япония), аналитики А.М. Карамова, З.Р. Биктимерова. Предел обнаружения составлял 0.1–1 г/т. Навеска пробы — 0.1 г. Подробно методика проведения анализа описана в работе [Мусина, Мичурин, 2016].

Дифференциальный термический анализ (ДТА) проводился на дериватографе Q-1500 (МОМ, Венгрия) с нагревом в воздушной среде от 20 до 1000°C со скоростью 10°C/мин, аналитик Т.И. Черникова. Навеска пробы составляла около 500 мг.

Кроме того, в 10 образцах (разрез по левому берегу р. Зилим в ~4 км выше по течению от д. Толпарово) проведен рентгенофазовый анализ на дифрактометре ДРОН-4 в порошковых пробах навеской 0.5–1 г, аналитик Г.С. Ситдикова. Съемка выполнялась в Cu Kα 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).

Результаты исследования

Петрография

Петрографические исследования проведены по образцам карбонатных пород, обнажающихся в разрезе по правому берегу р. Зилим в ~0,5 км

ниже по течению от д. Толпарово. Здесь известняки западной части обнажения (см. рис. 3, обр. АГ-1), микро-, тонкокристаллические. Кальцит в них спаритовый, размер зерен 0,01–0,15 мм. Зерна инкорпорационные, плотно упакованные. Цемент базальный. Отмечаются тонкие линзовидные, червеобразные прослои, сложенные микритовым кальцитом.

Далее в обнажении по направлению на восток встречаются известняки массивные микро-, тонкокристаллические (см. рис. 3, обр. К-41, К-42), размер зерен кальцита 0,001–0,06 мм, а также тонкокристаллические волнистостолоистые (обр. АГ-4) за счет чередования сплошных с раздувами, пережимами и линзовидных микритовых прослоев. В породах (обр. К-41, К-42) отмечаются средне- и высокоамплитудные стилолитовые швы, ориентированные параллельно слоистости. Перпендикулярно им расположены секущие трещины шириной от 0,2 до 1–2 мм, залеченные крупнокристаллическим доломитом (размер зерен до 0,7–1,3 мм). Изредка встречаются корродированные зерна доломита ромбической формы размером до 0,25 мм (обр. АГ-4).

В средней части разреза (см. рис. 3, обр. К-38, К-39, К-40) в микро-, тонкокристаллических, участками мелкокристаллических известняках наблюдается большое количество трещин, образующих перпендикулярную сеть. Трещины открытые с неровными краями, извилистые, залечены (иногда частично) мелко-, среднекристаллическим доломитом с корродированными краями. В обр. К-40

отмечаются «узурчатые» текстуры, возможно, отражающие первичную тремболитовую структуру бактериального обрастания.

В восточной части обнажения известняки тонко-, мелкокристаллические (см. рис. 3, обр. АГ-7) и мелко-среднекристаллические доломитизированные (обр. АГ-8) перекристаллизованные. В слабоперекристаллизованных разностях кальцит микрокристаллический микритовый размером от 0,01 до 0,03 мм. В перекристаллизованных — размер кристаллов достигает 0,1–0,15 мм. Известняки волнистостолоистые за счет линзовидных, округлых и червеобразных разнонаправленных прослоев, сложенных микритовым кальцитом. Известняки перекристаллизованы и доломитизированы. Доломит встречается в виде корродированных зерен ромбической формы размером до 0,25 мм.

Во всех шлифах из пород разреза отмечаются единичные зерна кварца округлой и овальной форм, бесформенные, корродированные, размером до 0,05–0,2 мм, количество их составляет около 1%.

Минералогия

По результатам ДТА (табл. 1) в пробах пород нижней подсвиты инзерской свиты в районе д. Толпарово фиксируются преимущественно два эндотермических эффекта в температурных интервалах 770–820 °С и 920–950 °С, обусловленных термической диссоциацией доломита и кальцита. В трех образцах (АГ-5, К-39, К-40) были проявлены еще

Таблица 1. Температуры эндотермических эффектов и содержание кальцита и доломита в карбонатных породах нижней подсвиты инзерской свиты в районе д. Толпарово по результатам ДТА

Table 1. Temperature of endothermic effects and the content of calcite and dolomite in carbonate rocks of the lower subformation of Inzer Formation in the area of Tolparovo village based on the results of DTA

№ обр.	Кальцит			Доломит			Другие термические эффекты		Общая потеря веса
	Т, °С	П. в.	Сод., %	Т, °С	П. в.	Сод., %	Т, °С	П. в.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Б-24	920	43.3	98	–	–	–	–	–	43.3
Б-25	950	44.0	100	–	–	–	–	–	44.0
Б-26	930	33.1	75	805, 930	11.6	24	–	–	44.7
Б-27	935	33.8	77	800, 935	9.0	19	–	–	42.8
Б-28	930	43.2	98	–	–	–	–	–	43.2
Б-29	930	33.2	76	800, 930	9.7	20	–	–	42.9
Б-31	920	36.7	83	720	5.8	12	–	–	42.5
Б-32	945	35.3	80	790, 945	8.1	17	–	–	43.4
Б-33	950	34.2	78	820, 950	8.3	17	–	–	42.5
Б-34	920	32.3	73	780, 920	6.5	14	–	–	38.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Б-35	930	32.5	74	810, 930	11.3	24	–	–	43.8
Б-36	940	39.6	90	800, 940	3.6	8	–	–	43.2
Б-37	930	30.2	69	800, 930	11.1	23	–	–	41.3
Б-38	940	43.7	99	–	–	–	–	–	43.7
Б-39	940	28.9	66	800, 940	14.9	31	–	–	43.8
Б-40	940	31.9	73	820, 940	12.4	26	–	–	44.3
Б-41	940	40.9	93	780	2.8	6	–	–	43,7
Б-42	935	23.9	54	800, 935	20.4	43	–	–	44.3
Б-43	930	25.0	57	800, 930	19.4	41	–	–	44.4
АГ-1	950	40.6	92	815	3.9	8	–	–	44.5
АГ-2	950	39.5	90	815, 950	4.1	9	–	–	43.6
АГ-3	940	39.1	89	815	3.7	8	–	–	42.8
АГ-4	950	42.7	97	–	–	–	–	–	42.7
АГ-5	940	26.5	60	790, 940	15.0	31	100, 420	1,7	43.2
АГ-6	950	42.7	97	–	–	–	–	–	42.7
АГ-7	930	26.9	61	790, 930	16.5	35	–	–	43.4
АГ-8	935	16.3	37	770, 930	29.6	62	–	–	45.9
К-38	940	30.8	70	800, 940	12.3	26	–	–	43.1
К-39	940	28.3	64	795, 940	12.4	26	105	1,4	42.1
К-40	940	31.5	72	810, 940	11.2	24	90	0,9	43.6
К-41	950	38.7	88	815	4.6	10	–	–	43.3

Примечания: прочерк — эффект отсутствует. П. в. — потеря веса, мас. %; Сод. — содержание минерала в пробе. Общая потеря веса в мас. %.

Notes: Dash — no effect. П. в. — weight loss, wt. %; Сод. — mineral content in the sample. Total weight loss in wt. %.

плавные эндотермические эффекты в широком температурном интервале — приблизительно от 60 до 300°C, с максимумом при 90–105°C, связанные, вероятно, с потерей межслоевой или адсорбированной воды из слоистых минералов. В одном из этих образцов (АГ-5) был также зафиксирован экзотермический эффект при 420°C, обусловленный, возможно, окислением пирита. В образце Б-31 температура первого эффекта доломита проявилась при 720°C. Рассчитанное по потере веса содержание доломита в образцах составляет 0–62%, кальцита — 37–100%.

В минералогическом составе карбонатных пород нижней подсвиты инзерской свиты в разрезе по левому берегу р. Зилим выше по течению от д. Толпарово по результатам рентгенофазового анализа установлены (в %): кальцит (72–98), доломит (<1–49), кварц (<1–3), мусковит (1–3) (табл. 2). Содержание минералов рассчитано по интенсивностям их главных рентгеновских отражений: кальцит — 3.032–3.038 Å; доломит — 2.884–2.892 Å; кварц — 3.339–3.349 Å и 4.246–4.262 Å. Мусковит представлен двумя разновидностями: мусковит-1 с основным рефлексом 9.936–10.026 Å, проявлен-

Таблица 2. Минералогический состав карбонатных пород нижней подсвиты инзерской свиты (разрез по левому берегу р. Зилим выше по течению от д. Толпарово) по результатам рентгенофазового анализа (%)
Table 2. Mineralogical composition of carbonate rocks of the lower subformation of Inzer Formation (section along the left bank of Zilim river upstream of Tolparovo village) according to the results of X-ray phase analysis (%)

	Кальцит	Доломит	Кварц	Мусковит		Кальцит	Доломит	Кварц	Мусковит
Б-24	98	<1	<1	1	Б-31	78	19	<1	1.5
Б-25	98	<1	<1	1.5	Б-34	83	12	3	2
Б-28	93	5	<1	1	Б-37	72	21	3	3
Б-29	81	16	1	1	Б-41	93	6	<1	1
Б-30	85	13	<1	1.5	Б-42	49	49	<1	1.5

ным во всех изученных пробах на уровне 1%, и мусковит-2, у которого главное отражение 3.189–3.196 Å зафиксировано в трех пробах (в Б-31 и Б-34 на уровне 0.5–1%, в Б-37 — около 2%). В следовых количествах во всех пробах отмечаются калиевый полевой шпат (основной рефлекс 3.242–3.249 Å) и альбит (4.022–4.032 Å). Их наибольшие содержания около 0.5–0.8% отмечены в пробах Б-31, Б-34, Б-37 (кпш) и Б-29, Б-31, Б-37, Б-42 (альбит).

Геохимия

Химический состав карбонатных пород нижней подсвиты инзерской свиты в районе д. Толпарово и содержание в них редких элементов по данным рентгенофлуоресцентного анализа приводятся в таблицах 3 и 4. В них же указаны концентрации F. Содержание Na₂O в таблицах не приводится, поскольку во всех пробах оно оказалось ниже предела обнаружения (<0.1 мас. %).

Содержание некоторых петрогенных оксидов и редких элементов в 10 параллельных пробах определены также атомно-эмиссионным анализом с индуктивно связанной плазмой, результаты кото-

рого приводятся в таблице 5. Сопоставление результатов рентгенофлуоресцентного и атомно-эмиссионного анализов (см. табл. 3–5) показывает их хорошую сходимость при определении большинства петрогенных оксидов, за исключением P₂O₅, содержания которого в пробах по данным РФА, по-видимому, несколько завышены. Точному определению фосфора в карбонатах при рентгенофлуоресцентном анализе мешают высокие содержания в них кальция.

Содержания фтора (n = 7) в карбонатных породах «северного» разреза варьируют от менее 50 до 149 г/т (среднее 79 г/т), хлора (n = 12) — от 58 до 157 г/т (среднее 93 г/т). В «южном» разрезе (n = 19) концентрации F и Cl составляют соответственно <50–649 г/т (среднее 191 г/т) и 70–166 г/т (среднее 110 г/т).

Обсуждение результатов

Как видно из приведенных результатов, средние содержания фтора и хлора в карбонатных породах нижней подсвиты инзерской свиты в районе д. Толпарово примерно в 1.5 раза ниже кларковых

Таблица 3. Содержания петрогенных оксидов (мас. %) и редких элементов (г/т) в карбонатных породах нижней подсвиты инзерской свиты в разрезе по левому берегу р. Зилим выше по течению от д. Толпарово по результатам РФА

Table 3. Content of petrogenic oxides (wt. %) and trace elements (ppm) in carbonate rocks of the lower subformation of Inzer Formation in the section along the left bank the Zilim river upstream from Tolparovo village based on the results of X-ray fluorescence analysis

	Б-24	Б-25	Б-26	Б-27	Б-28	Б-29	Б-30	Б-31	Б-32	Б-33
SiO ₂	1.085	0.539	1.549	2.460	1.309	1.683	1.232	1.796	1.686	1.501
TiO ₂	0.030	0.021	0.038	0.043	0.028	0.047	0.033	0.041	0.043	0.030
Al ₂ O ₃	0.350	0.162	0.502	0.783	0.514	0.611	0.526	0.750	0.750	0.521
Fe ₂ O ₃ общ	0.108	0.050	0.195	0.204	0.101	0.233	0.137	0.243	0.232	0.228
MnO	0.014	<ПО	0.019	0.010	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	0.011	0.014
MgO	0.395	0.202	3.288	3.532	0.940	4.097	2.876	4.110	3.858	3.908
CaO	54.743	55.462	50.866	49.748	53.122	49.438	50.943	49.563	49.090	50.504
K ₂ O	0.093	0.017	0.098	0.277	0.088	0.217	0.136	0.204	0.185	0.111
P ₂ O ₅	0.075	0.039	0.042	0.035	0.052	0.023	0.069	0.067	0.127	0.164
SO ₂	0.025	0.021	0.020	0.032	0.023	0.028	0.041	0.037	0.028	0.023
ППП	43.162	43.165	43.898	42.627	43.047	42.879	43.177	42.628	43.300	42.574
F	444	225	140	162	335	95	365	649	89	53
Cl	151	78	124	109	95	108	125	82	71	87
V	9	<ПО	<ПО	12	6	<ПО	<ПО	5	7	<ПО
Ni	<ПО	6	<ПО	25	<ПО	5	<ПО	<ПО	11	25
Cu	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО
Zn	7	14	13	8	11	<ПО	29	6	8	<ПО
Rb	11	13	18	<ПО	8	8	14	12	6	10
Sr	498	1221	278	176	269	266	323	509	516	318
Zr	27	62	23	35	26	16	19	23	33	40
Σ	100.191	99.839	100.574	99.804	99.306	99.309	99.256	99.565	99.382	99.631

	Б-34	Б-35	Б-37	Б-38	Б-39	Б-40	Б-41	Б-42	Б-43
SiO ₂	4.756	1.196	5.219	0.451	1.643	0.779	1.003	1.040	1.393
TiO ₂	0.086	0.037	0.109	0.024	0.045	0.026	0.037	0.035	0.031
Al ₂ O ₃	1.415	0.401	1.186	0.263	0.446	0.311	0.480	0.275	0.338
Fe ₂ O ₃ общ	0.355	0.176	0.357	0.021	0.272	0.172	0.183	0.501	0.614
MnO	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	0.016	0.014	<ПО	0.031	0.040
MgO	2.993	4.595	4.298	0.240	5.047	4.389	1.600	8.556	8.377
CaO	48.271	49.948	46.411	54.514	48.154	50.986	52.259	45.834	45.143
K ₂ O	0.665	0.087	0.529	0.019	0.105	0.026	0.108	0.053	0.080
P ₂ O ₅	0.187	0.165	0.264	0.063	0.173	0.053	0.092	0.083	0.094
SO ₂	0.051	0.024	0.047	0.022	0.022	0.028	0.029	0.024	0.020
ППП	39.454	43.234	41.064	43.308	43.775	43.820	43.386	44.335	44.400
F	178	<ПО	327	59	122	122	160	57	<ПО
Cl	89	70	149	80	135	117	130	166	128
V	6	16	11	<ПО	12	6	7	<ПО	<ПО
Ni	<ПО	<ПО	18	<ПО	<ПО	<ПО	6	20	<ПО
Cu	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	13	<ПО	<ПО	<ПО
Zn	21	<ПО	<ПО	<ПО	20	12	<ПО	16	17
Rb	17	<ПО	11	8	12	13	<ПО	19	9
Sr	454	258	264	368	240	200	117	173	156
Zr	45	41	47	25	23	9	22	37	33
Σ	98.318	99.910	99.575	98.985	99.754	100.653	99.227	100.815	100.564

Примечание: здесь и в таблицах 4–5 <ПО — содержание ниже предела обнаружения.

Note: here and in Tables 4–5 <PO is the content below the detection limit.

Таблица 4. Содержания петрогенных оксидов (мас. %) и редких элементов (г/т) в карбонатных породах нижней подсвиты инзерской свиты в разрезе по правому берегу р. Зилим ниже по течению от д. Толпарово по результатам РФА

Table 4. Content of petrogenic oxides (wt. %) and trace elements (ppm) in carbonate rocks of the lower subformation of Inzer Formation in the section along the right bank of Zilim river downstream of Tolparovo village based on the results of X-ray fluorescence analysis

	АГ-1	АГ-2	АГ-3	АГ-4	АГ-5	АГ-6	АГ-7	АГ-8	К-38	К-39	К-40	К-41
SiO ₂	0.517	0.554	0.511	1.253	2.494	0.525	1.533	0.638	1.594	2.019	1.110	0.482
TiO ₂	0.015	0.030	0.010	0.045	0.093	0.011	0.046	0.014	0.052	0.068	0.038	0.010
Al ₂ O ₃	<ПО	<ПО	<ПО	0.342	0.602	<ПО	0.235	<ПО	0.426	0.613	0.380	<ПО
Fe ₂ O ₃ общ	0.079	0.124	0.099	0.142	0.360	0.629	0.532	0.333	0.256	0.282	0.204	0.094
MnO	0.010	<ПО	<ПО	<ПО	0.010	<ПО	<ПО	0.015	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО
MgO	1.293	1.642	1.683	0.652	5.283	0.424	7.271	13.313	5.477	5.548	5.273	2.116
CaO	53.077	52.888	53.377	53.308	47.915	54.242	45.854	40.463	48.092	47.119	48.801	53.156
K ₂ O	0.016	0.054	0.025	0.137	0.307	0.012	0.160	0.015	0.178	0.285	0.109	0.026
P ₂ O ₅	0.041	<ПО	0.032	0.101	0.270	0.016	0.149	<ПО	0.034	0.099	<ПО	0.026
SO ₂	0.017	0.017	0.017	0.022	0.051	0.011	0.024	0.013	0.022	0.398	0.016	0.013
ППП	43.995	43.644	43.533	43.137	42.815	43.140	43.395	45.596	42.940	42.645	43.219	42.855
F	51	<ПО	–	132	149	–	–	<ПО	70	–	–	89
Cl	137	119	98	77	82	80	97	157	58	67	62	79
V	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО
Ni	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО
Cu	14	5	10	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	8	<ПО	9	<ПО	<ПО
Zn	<ПО	<ПО	5	6	6	5	<ПО	<ПО	<ПО	7	<ПО	5
Rb	20	17	21	<ПО	9	12	19	18	10	14	17	11
Sr	475	522	855	619	479	185	320	310	281	228	292	471
Zr	41	36	52	46	40	12	35	24	20	22	25	36
Σ	99.167	99.119	99.412	99.234	100.277	99.049	99.255	100.454	99.119	99.118	99.198	98.899

Примечание: прочерк — измерение не проводили.

Note: dash — measurement was not performed.

Таблица 5. Содержания петрогенных оксидов (мас. %) и редких элементов (г/т) в карбонатных породах нижней подсвиты инзерской свиты в районе д. Толпарово по результатам ИСП АЭС

Table 5. Content of petrogenic oxides (wt. %) and trace elements (ppm) in carbonate rocks of the lower subformation of Inzer Formation in the area of Tolparovo village based on the results of ICP AES

	Б-24	Б-27	Б-37	Б-40	АГ-1	АГ-2	АГ-4	АГ-5	АГ-8	38-К
TiO ₂	0.007	0.037	0.085	0.073	0.007	0.030	0.052	0.088	0.014	0.057
Al ₂ O ₃	0.189	0.481	1.184	0.377	0.036	0.130	0.321	0.681	0.040	0.322
Fe ₂ O ₃ общ	0.114	0.207	0.338	0.178	0.094	0.106	0.147	0.387	0.310	0.250
MnO	0.002	0.004	0.004	0.013	0.005	0.006	0.004	0.009	0.016	0.009
MgO	0.307	3.285	3.522	4.473	0.784	1.412	0.521	5.565	11.964	5.001
CaO	55.079	46.903	47.034	49.509	52.420	52.108	53.358	46.170	38.669	47.576
Na ₂ O	0.018	0.029	0.059	0.024	0.020	0.016	0.025	0.047	0.025	0.026
P ₂ O ₅	0.057	0.055	0.163	0.044	0.041	0.042	0.065	0.134	0.029	0.044
Li	0.3	0.5	1.0	0.3	<ПО	<ПО	1.0	1.1	<ПО	<ПО
Sc	0.1	0.5	1.3	0.1	<ПО	<ПО	0.1	0.6	<ПО	<ПО
V	1.3	2.0	4.9	5.8	0.2	0.5	1.0	7.3	<ПО	1.1
Cr	11.8	12.3	14.5	14.6	9.8	2.6	2.6	16.7	11.9	12.1
Co	3.0	2.3	2.5	1.9	3.0	3.0	3.0	1.8	0.9	2.1
Ni	2.8	3.5	4.1	3.3	3.5	3.3	4.1	4.4	3.1	4.2
Cu	2.3	6.2	3.9	6.1	2.3	0.5	1.6	2.1	1.5	2.0
Zn	11.7	1.2	1.7	3.0	1.0	1.5	4.4	5.8	7.2	4.8
Sr	549.4	215.8	286.7	238.7	497.4	524.3	680.4	446.9	248.6	326.0
Y	0.7	0.4	4.0	0.6	2.4	2.8	3.0	5.6	4.9	4.2
Zr	35.1	38.6	50.7	34.9	42.0	43.0	44.4	48.2	41.8	45.1
Pb	3.7	10.9	5.7	5.3	7.3	4.1	7.3	5.8	15.2	6.7

концентраций в карбонатах, равных для фтора 330 г/т, хлора — 150 г/т (кларки элементов приводятся по К. Таркьяну и К. Ведеполу [Войткевич и др., 1990]). Вместе с тем несколько проб в «южном» разрезе (Б-24, Б-28, Б-30, Б-31) отличаются от остальных более высокими концентрациями фтора, колеблющимися от 335 до 649 г/т, близкими к кларку или превышающими его в 1.5–2 раза.

В целом по всей выборке проб из обоих разрезов для F устанавливается только слабая связь с кальцитом ($K_{\text{корр}} = 0.33$) и со следующими петрогенными оксидами и элементами (табл. 6): SO₂ (0.47), Al₂O₃ (0.38), V (0.28), K₂O и SiO₂ (0.27), CaO (0.22), TiO₂ (0.20). Вместе с тем без учета 5 проб из «южного» разреза с повышенным содержанием F коэффициенты корреляции довольно сильно изменяются — прямая зависимость между содержаниями фтора и кальцита пропадает, а между F и перечисленными оксидами увеличивается и становится значимой ($K_{\text{корр}} = 0.72–0.77$, см. табл. 6). Сильная положительная связь фтора с кремнеземом, глиноземом, оксидами калия и фосфора достаточно очевидно отражает главные фторсодержащие мине-

ралы в карбонатных породах инзерской свиты — мусковит и апатит.

Связь между содержаниями F и Al₂O₃, K₂O, TiO₂, P₂O₅ в породах обоих разрезов демонстрируется на рис. 4, на котором хорошо видно, что фигуративные точки карбонатных пород нижней подсвиты инзерской свиты в районе д. Толпарово образуют два кластера. В первый из них, основной, попадают практически все фигуративные точки пород «южного» и «северного» разрезов, во второй — только 5 из «южного» разреза, образцы Б-24, Б-25, Б-28, Б-30 и Б-31, о которых уже упоминалось выше. В обоих кластерах связь фтора с петрогенными оксидами положительная, однако степень увеличения его содержания в зависимости от повышения концентраций в породах Al₂O₃, K₂O, TiO₂, P₂O₅ разная — слабая в основном кластере (см. рис. 4, кластер А) и сильная в кластере из 5 образцов (см. рис. 4, кластер Б). Это указывает, по-видимому, на то, что накопление фтора в породах инзерской свиты в районе д. Толпарово имеет двоякую природу.

По результатам дифференциального термического анализа установлено, что карбонатные

Таблица 6. Коэффициенты корреляции содержаний фтора и хлора с содержаниями петрогенных оксидов, редких элементов, кальцита и доломита в карбонатных породах нижней подсвиты инзерской свиты в районе д. Толпарово

Table 6. Correlation coefficients of fluorine and chlorine contents with the contents of petrogenic oxides, trace elements, calcite and dolomite in carbonate rocks of the lower subformation of Inzer Formation in the area of Tolparovo village

	Фтор						Хлор					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	0.27	0.79	0.74	0.17	0.78	0.88	0.04	0.05	-0.50	0.12	0.12	-0.02
TiO ₂	0.20	0.77	0.73	0.14	0.83	0.93	-0.06	-0.06	-0.46	0.20	0.20	0.12
Al ₂ O ₃	0.38	0.73	0.78	0.25	0.72	0.82	-0.07	-0.07	-0.63	-0.08	-0.10	-0.10
Fe ₂ O ₃	-0.17	0.05	0.18	-0.26	-0.05	0.95	0.15	0.20	-0.12	0.43	0.55	-0.11
MnO	-0.40	-0.30	-0.28	-0.49	-0.42	-0.38	0.45	0.49	0.66	0.45	0.48	0.38
MgO	-0.30	-0.27	-0.36	-0.36	-0.30	0.75	0.29	0.37	0.32	0.36	0.51	-0.20
CaO	0.22	0.01	0.28	0.26	-0.10	-0.72	-0.26	-0.35	-0.25	-0.34	-0.52	0.16
K ₂ O	0.27	0.73	0.77	0.20	0.71	0.91	-0.09	-0.09	-0.54	0.01	-0.02	0.04
P ₂ O ₅	0.09	0.54	0.85	-0.09	0.42	0.68	0.01	-0.01	-0.23	0.07	0.00	0.74
SO ₂	0.47	0.72	0.73	0.44	0.76	0.57	-0.22	-0.23	-0.29	0.04	0.02	0.14
Cl/F	0.03	0.12	-0.70	0.07	0.36	0.05	0.03	0.12	-0.70	0.07	0.36	0.05
V	0.28	0.38	–	0.13	0.33	0.20	0.12	0.08	–	-0.09	-0.20	0.66
Ni	-0.06	0.28	–	-0.21	0.21	-0.59	0.24	0.28	–	0.18	0.20	-0.14
Cu	-0.31	-0.22	-0.66	-0.12	0.06	–	0.09	0.12	0.57	0.03	0.02	–
Zn	0.19	0.07	0.76	0.07	-0.05	-0.44	0.27	0.31	-0.20	0.26	0.35	0.16
Rb	-0.01	-0.18	-0.82	0.18	0.09	0.06	0.28	0.30	0.53	0.33	0.41	0.09
Sr	0.18	-0.07	0.49	0.29	0.02	-0.43	-0.26	-0.26	0.19	-0.44	-0.66	-0.45
Zr	-0.10	0.21	0.54	-0.10	0.20	-0.62	-0.06	0.03	0.22	-0.21	-0.09	-0.47
Cal	0.33	0.08	0.20	0.41	0.07	-0.74	-0.27	-0.35	-0.22	-0.40	-0.55	0.24
Dol	-0.38	-0.20	-0.31	-0.47	-0.22	0.74	0.34	0.43	0.33	0.43	0.58	-0.24

Примечания: 1–6 — разные выборки проб: 1 — по всем пробам (n = 31) «северного» и «южного» разрезов; 2 — по всем пробам (n = 26) «северного» и «южного» разрезов без образцов Б-24, Б-25, Б-28, Б-30, Б-31 с повышенным содержанием фтора; 3 — по пробам «северного» разреза (n = 12); 4 — по пробам «южного» разреза (n = 19); 5 — по пробам «южного» разреза (n = 14) без образцов Б-24, Б-25, Б-28, Б-30, Б-31; 6 — по образцам Б-24, Б-25, Б-28, Б-30, Б-31 с повышенным содержанием фтора (n = 5). Cal — кальцит. Dol — доломит. Прочерк — коэффициент не рассчитывался.

Notes: 1–6 — different sample sets: 1 — for all samples (n = 31) of the “northern” and “southern” sections; 2 — for all samples (n = 26) of the “northern” and “southern” sections without samples B-24, B-25, B-28, B-30, B-31 with increased fluorine content; 3 — based on samples from the “northern” section (n = 12); 4 — based on samples from the “southern” section (n = 19); 5 — based on samples from the “southern” section (n = 14) without samples B-24, B-25, B-28, B-30, B-31; 6 — according to samples B-24, B-25, B-28, B-30, B-31 with increased fluorine content (n = 5). Cal — calcite. Dol — dolomite. Dash — coefficient was not calculated.

породы нижней подсвиты инзерской свиты в районе д. Толпарово представлены в основном тремя разновидностями: 1) практически чистыми известняками с содержанием кальцита от 97 до 100% (обр. Б-24, Б-25, Б-28, Б-38, АГ-4, АГ-6); 2) низкодоломитовыми известняками с содержанием доломита 6–10% (Б-36, Б-41, АГ-1–АГ-3, К-41) и 3) доломитовыми известняками с содержанием доломита 12–43% (Б-26, Б-27, Б-29–Б-35, Б-37, Б-39, Б-40, Б-42, Б-43, АГ-5, АГ-7, К-38–К-40). Выделяется еще один литологический тип — кальцитовые доломиты, представленный в «северном»

разрезе одним образцом (АГ-8), в котором содержание доломита составляет 62%, кальцита — 37% (см. табл. 1).

Доломитовые известняки из перечисленных типов пород преобладают. Степень их доломитизации в обоих разрезах примерно одинаково увеличивается от подошвы к кровле подсвиты и вместе с тем с запада на восток по направлению к региональному субмеридиональному разрывному нарушению, протягивающемуся на десятки км. Вблизи нарушения в известняках фиксируется максимальное содержание доломита.

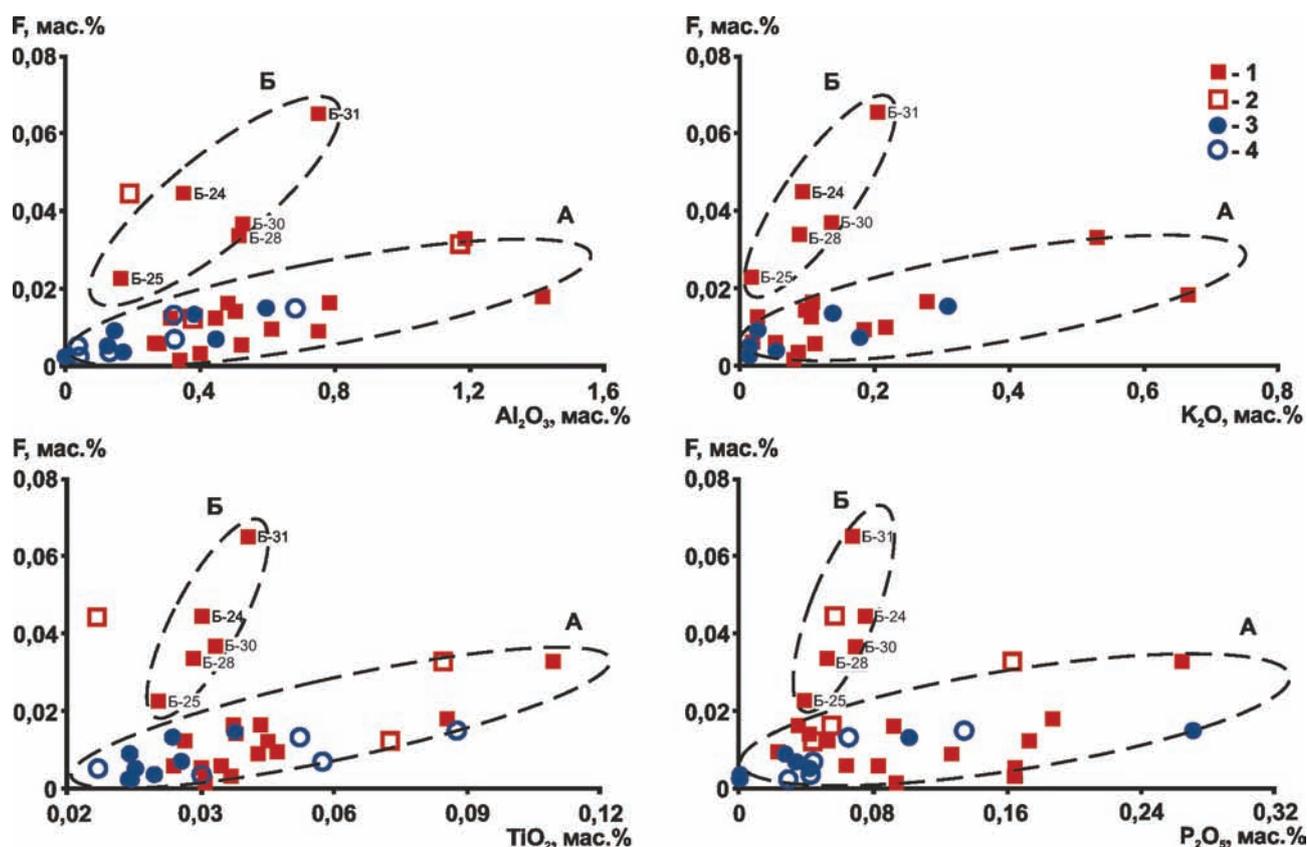


Рис. 4. Связь между содержаниями F и Al_2O_3 , K_2O , TiO_2 , P_2O_5 в карбонатных породах нижней подсвиты инзерской свиты в районе д. Толпарово

Условные обозначения: 1–2 — «южный» разрез: 1 — данные РФА, 2 — данные ИСП АЭС; 3–4 — «северный» разрез: 3 — данные РФА, 4 — данные ИСП АЭС. А, Б — разные кластеры, пояснения в тексте.

Fig. 4. Relationship between the contents of F and Al_2O_3 , K_2O , TiO_2 , P_2O_5 in carbonate rocks of the lower subformation of Inzer Formation in the area of Tolparovo village

Legend: 1–2 — “southern” section: 1 — XRF data, 2 — ICP AES data; 3–4 — “northern” section: 3 — XRF data, 4 — ICP AES data. A, B — different clusters (explanations in the text).

А.Б. Кузнецов с соавторами [Кузнецов и др., 2006] на основании изотопного состава С и О карбонатов, а также достаточно жестких геохимических критериев их сохранности, считают, что доломитизация известняков нижней подсвиты инзерской свиты в районе д. Толпарово произошла на стадии раннего диагенеза. Вместе с тем проведенные нами петрографические наблюдения показывают, что в «северном» обнажении в известняках инзерской свиты по направлению на восток к их тектоническому контакту с песчаниками толпаровской свиты отмечаются трещины, полностью или частично залеченные средне- и крупнокристаллическим доломитом, увеличивается размерность зерен и степень доломитизации. Эти данные указывают на то, что процессы доломитизации подинзерских известняков происходили не только в раннем диагенезе,

но и в эпигенезе, наиболее вероятно, в связи с тектоническими дислокациями и гидротермальной деятельностью в зоне разлома.

В то же время содержания фтора в породах нижней подсвиты инзерской свиты не обнаруживают связи с содержанием доломита, а, напротив, имеют очень слабую положительную корреляцию с кальцитом (см. табл. 6). Более того, концентрации фтора в породах вблизи разрывного нарушения не увеличиваются, а уменьшаются, указывая, таким образом, на то, что его накопление не связано с приразломной гидротермальной деятельностью. С учетом этого и вышеприведенных коррелятивных связей фтора можно сделать вывод, что наблюдающиеся в известняках нижекларковские концентрации фтора унаследованы из глинистых минералов (гидрослюда), в том или ином количестве

присутствовавших в известковых осадках. Как отмечено выше, согласно литологическим наблюдениям [Маслов и др., 2001], в породах «северного» разреза хорошо выражена волнистая слоистость, подчеркнутая тончайшими глинистыми и глинисто-карбонатными пленками.

Вместе с тем можно предположить, что и увеличение содержания фтора до вышекларковых концентраций в отдельных интервалах «южного» разреза также связано с осадочным процессом, точнее с осадконакоплением, близким к эвапоритовому. В таком случае находит объяснение тот факт, что в сравнении с другими частями изученных разрезов количество мусковита (изначально глинистых минералов) в доломитоносных и доломитовых известняках из этих интервалов уменьшается, но содержание фтора в них увеличивается.

В пользу этого предположения можно рассматривать не только повышенные содержания фтора в этих интервалах, но и достаточно высокие концентрации в них стронция, достигающие 1221 г/т (обр. Б-25, см. табл. 3). Ранее в Башкирском мегантиклинории наиболее высокие концентрации этого элемента установлены в известняках верхней части большеинзерской свиты нижнего рифея (в среднем 1821 г/т), которые выделены в качестве стронциевого геохимического горизонта [Гареев, 1989]. Известняки подинзерских слоев в сводке указанного автора по уровню концентраций Sr находятся на втором месте, среднее содержание в них составляет 833 г/т и превышает кларковое содержание стронция в карбонатных породах (610 г/т [Войткевич и др., 1990]) примерно в 1.5 раза. Одним из вполне вероятных объяснений таких высоких концентраций Sr является его накопление в эвапоритовых или близких к ним обстановках [Горожанин, Мичурин, 2008; Юдович и др., 1980; Юдович, Кетрис, 2011]. В качестве литологического доказательства подобных обстановок восадконакопления можно указать на присутствие прослоев седиментогенных плоско-обломочных брекчий в средней части «северного» обнажения (см. рис. 3), свидетельствующих о крайне мелководных обстановках.

В то же время нельзя полностью исключить из рассмотрения сценарий обогащения отдельных интервалов «южного» разреза в результате воздействия флюидов эвапоритовой природы, которое, вероятно, могло происходить избирательно послойно. В пользу этого сценария говорят довольно высокие положительные коэффициенты корреляции (0,74–0,75) между содержаниями фтора и содержаниями оксида магния и доломита в известняках из

этих интервалов. Графически положительная связь фтора с доломитом и отрицательная связь с кальцитом в образцах «южного» разреза с повышенным содержанием F иллюстрируется диаграммой (рис. 5, кластер Б).

Хлор в изученных разрезах обнаруживает те же закономерности, которые установлены нами ранее [Мичурин и др., 2018б; Казбулатова и др., 2019]. Он имеет положительные коэффициенты корреляции только с доломитом, MgO, MnO. С кальцитом в известняках инзерской свиты хлор связан отрицательной связью (см. рис. 5). Наиболее вероятно, что хлор входит преимущественно во флюидные включения средне- и крупнокристаллических эпигенетических доломитов, развивающихся по тектоническим трещинам в известняках.

Выводы

1. Карбонатные породы нижней подсвиты инзерской свиты верхнего рифея в двух изученных обнажениях по р. Зилим в районе д. Толпарово представлены преимущественно доломитоносными, низкодоломитовыми и доломитовыми известняками, а также кальцитовыми доломитами. Доломитизация известняков в обоих разрезах закономерно увеличивается от подошвы к кровле подсвиты и вместе с тем с запада на восток по направлению к субмеридиональному региональному разрывному нарушению. В породах, по-видимому, проявлена как раннедиагенетическая доломитизация, так и эпигенетическая, представленная средне-, крупнокристаллическим доломитом, развитым по трещинам, которые образовались, вероятно, в результате тектонических дислокаций.

2. Содержания в породах фтора варьируют от менее 50 до 649 г/т, хлора — от 58 до 166 г/т, средние значения их (161 г/т — F, 103 г/т — Cl) ниже кларковых концентраций в карбонатах в 1.5–2 раза. Содержания F и Cl в породах «северного» разреза ниже, чем в породах «южного».

3. Фтор обнаруживает наиболее сильные геохимические связи с SiO₂, Al₂O₃, K₂O, TiO₂, P₂O₅, хлор — с MgO, MnO, Fe₂O₃. Главными минералами-концентраторами F являются мусковит и апатит, Cl — эпигенетический доломит.

4. В отдельных интервалах «южного» разреза выявлено обогащение пород F (444–649 г/т) и Sr (1221 г/т), содержания которых превышают кларковые в 1.5–2 раза. Локальное накопление фтора и стронция могло быть связано или с кратковременными эпизодами седиментации, близкой

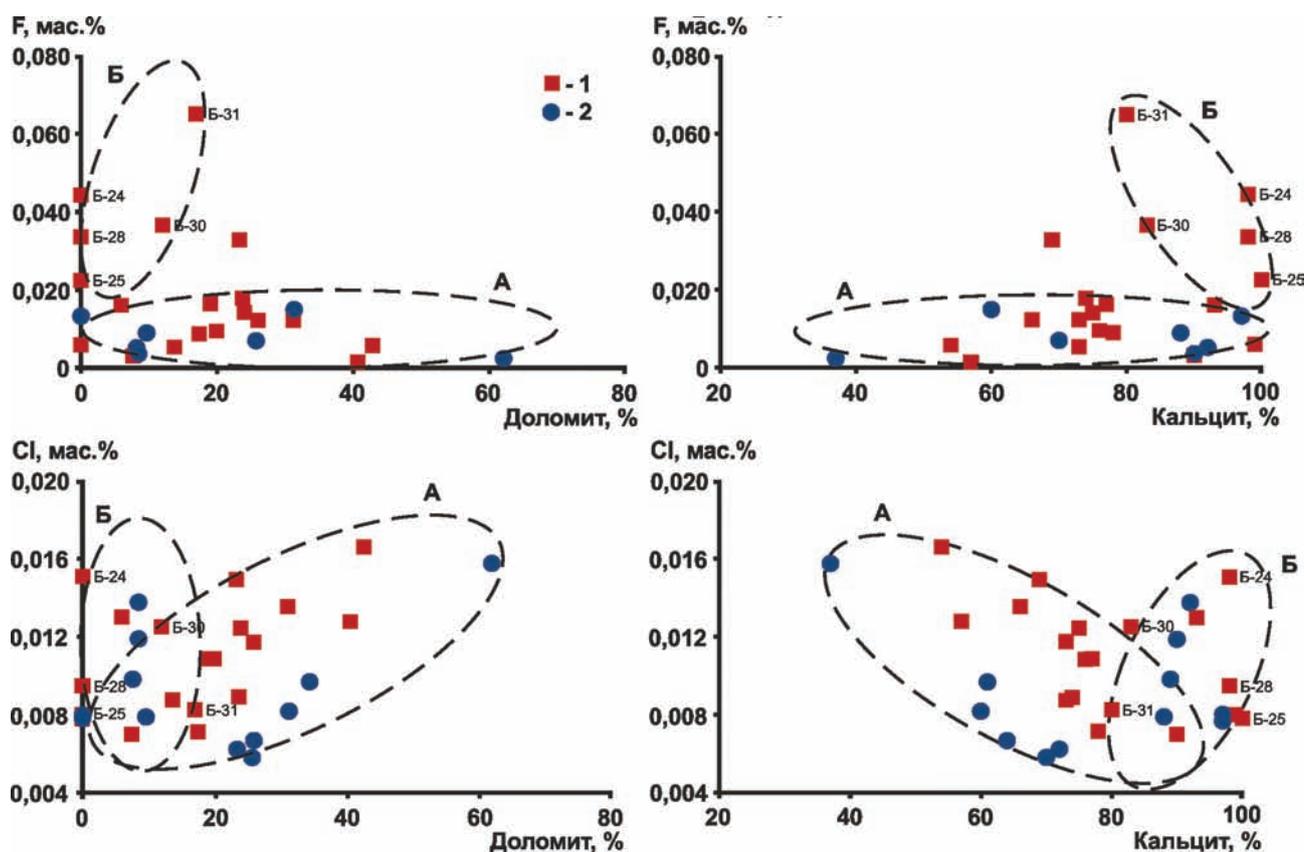


Рис. 5. Связь содержаний F и Cl с содержаниями кальцита и доломита в карбонатных породах нижней подсвиты инзерской свиты в районе д. Толпарово

Условные обозначения: 1 — «южный» разрез, 2 — «северный» разрез. А, Б — разные кластеры, пояснения в тексте.

Fig. 5. Relationship of F and Cl contents with calcite and dolomite contents in carbonate rocks of the lower subformation of Inzer Formation in the area of Tolparovo village

Legend: 1—"southern" section, 2 — "northern" section. A, Б — different clusters explanations in the text.

к эвапоритовой, или являться результатом воздействия флюидов эвапоритовой природы.

Благодарности. Авторы искренне признательны М.Т. Крупенину за критические замечания и плодотворное обсуждение материалов статьи.

Исследования выполнены в рамках темы № 0246-2019-0085 государственного задания ИГ УФИЦ РАН.

Список литературы:

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

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

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

Гареев Э.З. Геохимия осадочных пород стратотипического разреза рифея: Автореф. ... дис. канд. геол.-мин. наук / ГЕОХИ АН СССР. М., 1989. 31 с.

Горожанин В.М., Мичурин С.В. Литологические и изотопно-геохимические признаки эвапоритовых обстановок в раннем рифее Южного Урала // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов АН РБ. 2008. № 12. С. 102–108.

Горохов И.М., Зайцева Т.С., Кузнецов А.Б., Овчинникова Г.В., Аракелянц М.М., Ковач В.П., Константинова Г.В., Турченко Т.Л., Васильева И.М. Изотопная систематика и возраст аутигенных минералов в аргиллитах инзерской свиты Южного Урала // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2019. Т. 27, № 2. С. 3–30.

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: Сб. статей 7-ой Всероссийской молодежной геологической конференции с международным участием, Уфа, 23–27 сент. 2019 г. Уфа: РН-БашНИПИнефть, 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 ализарин-комплексоната фторида лантана // Башкирский химический журнал. 2019. Т. 26, № 1. С. 42–47.

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

Крупенин М.Т., Прохаска В. Эвапоритовая природа флюидных включений в кристаллических магнетитах сагкинского типа // Докл. АН. 2005. Т. 403, № 5. С. 1–3.

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

Кузнецов А.Б., Семихатов М.А., Маслов А.В., Горохов И.М., Прасолов Э.М., Крупенин М.Т., Кислова И.В. Sr- и С-изотопная хемотратиграфия типового разреза верхнего рифея (Южный Урал): новые данные // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2006. Т. 14, № 6. С. 25–53.

Маслов А.В. Литология верхнерифейских отложений Башкирского мегантиклинория. М.: Наука, 1988. 133 с.

Маслов А.В., Крупенин М.Т., Гареев Э.З., Анфимов Л.В. Рифей западного склона Южного Урала. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2001. Т. 4. 103 с.

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

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., 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., 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 лапштинской подсвиты суранской свиты нижнего рифея (Багарьштинский разрез, Южный Урал) // Геологический вестник, 2020б. № 3. С. 3–26.

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.

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: Матер. IV Всероссийской молодежной геологической конференции. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 2016. С. 39–44.

Овчинникова Г.В., Васильева Г.В., Семихатов М.А., Кузнецов А.Б., Горохов И.М., Гороховский Б.М., Левский Л.К. U-Pb систематика протерозойских карбонатных пород: инзерская свита уральского стратотипа рифея (Южный Урал) // Стратиграфия. Геол. корреляция. 1998. Т. 6, № 4. С. 20–31.

Парначев В.П. Фтор и хлор в позднекембрийских 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.

Стратотип рифея. Стратиграфия. Геохронология / Отв. ред. Б.М. Келлер, Н.М. Чумаков. М.: Наука, 1983. 184 с.

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: Сб. статей 7-ой Всероссийской молодежной геологической конференции с международным участием, Уфа, 23–27 сент. 2019 г. Уфа: РН-БашНИПИнефть, 2019. С. 113–118.

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. Свердловск: ИГГ УрО АН СССР, 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. Геохимические индикаторы литогенеза (литологическая геохимия). Сыктывкар: Геопринт, 2011. 742 с.

Юдович Я.Э., Майдль Т.В., Иванова Т.И. Геохимия стронция в карбонатных отложениях (в связи с проблемой геохимической диагностики рифов). Л.: Наука, 1980. 152 с.

References:

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* [Yearbook-1979]. Sverdlovsk: IGG UNTs AN SSSR, 95-97. (In Russian).

Anfimov L.V., Krupenin M.T., Petrishcheva V.G. (1987) Microelements and their correlation value in the carbonate rocks of the Riphean of the Bashkir meganticlinorium. *Geokhimiya vulkanicheskikh i osadochnykh porod Yuzhnogo Urala* [Geochemistry of volcanic and sedimentary rocks of the Southern Urals]. Sverdlovsk: UNTs AN SSSR, 47-56. (In Russian).

- Gareev E.Z. (1989) *Geohimiya osadochnykh porod stratotipicheskogo razreza rifeya. Avtoref. diss. ... kand. geol.-min. nauk* [Geochemistry of sedimentary rocks of the stratotype section of Riphean. Abstract. dis. ... kand. geol.-min. sciences]. Moscow, GEOKHI, 24 p. (In Russian).
- Gorohov I.M., Zaitseva T.S., Kuznetsov A.B., Ovchinnikova G.V., Arakelyants M.M., Kovach V.P., Konstantinova G.V., Turchenko T.L., Vasil'eva I.M. (2019) Isotope systematics and age of authigenic minerals in mudstones of the Inzer Formation of the Southern Urals. *Stratigrafiya. Geol. Korrelyatsiya – Stratigraphy and Geological Correlation*, **27**(2), 3-30. (In Russian).
- Gorozhanin V.M., Michurin S.V. (2008) Lithological and isotope-geochemical features of evaporite environments in the Early Riphean of the Southern Urals. *Geologiya. Izvestiya Otdeleniya nauk o Zemle i prirodnkh resursov AN RB – Geology. Bulletin of the Department of Earth Sciences and Natural Resources of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan*, (12), 102-108. (In Russian).
- Halizova V.A., Polupanova L.I., Bebesko G.I., Alekseeva A.Ya., Gel'man E.M. (1976) *Instruktsiya NSAM 139-H. Himicheskie metody. Fotometricheskii metod opredeleniya ftora v gornyh porodah, mineralah i rastvorah po reaktsii obrazovaniya alizarinkompleksonata ftorida tseriya* [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 alizarincomplexonate]. Moscow, 25 p. (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 chemistry 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, geoekologiya i resursnyi potentsial Urala i sopredel'nykh territorii. 7th Vserossiiskaya molodezhnaya geologicheskaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiem* [Geology, geoecology and resource potential of the Urals and adjacent territories: Collection of articles of the 7th All-Russian youth geological conference with international participation]. Ufa, sept., 23-27, 2019. Ufa, RN-BashNIPINeft, 77-81. (In Russian).
- Keller B.M., Chumakov N.M. (Eds.) (1983) *Stratotip rifeya. Stratigrafiya. Geokhronologiya* [Riphean stratotype. Stratigraphy. Geochronology]. Moscow, Nauka Publ., 184 p. (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., Michurin S.V., Sharipova A.A., Garaeva A.A., Zamyatin D.A., Gulyaeva T.Ya. (2019) Conditions for the formation of Mg-Fe metasomatic carbonates in the Lower Riphean terrigenous-carbonate strata of the Southern Urals. *Litologiya i poleznye iskopaemye – Lithology and Mineral Resources*, (3), 262-277. (In Russian).
- Kuznetsov A.B., Semihatov M.A., Maslov A.V., Gorohov I.M., Prasolov Ye.M., Krupenin M.T., Kislova I.V. (2006) Sr- and C-isotope chemostratigraphy of the Upper Riphean type section (South Urals): new data. *Stratigrafiya. Geol. Korrelyatsiya – Stratigraphy and Geological Correlation*, **14**(6), 25-53. (In Russian).
- Maslov A.V. (1988) *Litologiya verhnnerifeiskikh otlozhenii Bashkirskogo megantiklinoriya* [Lithology of the Upper Riphean deposits of the Bashkirian meganticlinorium]. Moscow, Nauka Publ., 133 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 UrB RAS, 351 p. (In Russian).
- Michurin S.V., Kalistratova E.O., Sultanova A.G., Kazbulatova G.M. (2020a) Fluorine in the rocks of the West Aktash ore zone (South Urals). *Geologicheskii vestnik – Geological Bulletin*, (2), 54-71. (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. *Izvestiya Otdeleniya nauk o Zemle i prirodnkh resursov AN RB – Geology. Bulletin of the Department of Earth Sciences and Natural Resources of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan*, (18), 76-90. (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. *Izvestiya Otdeleniya nauk o Zemle i prirodnkh resursov AN RB – Geology. Bulletin of the Department of Earth Sciences and Natural Resources of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan*, (26), 76-87. (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 – Lithosphere*, **18**(1), 61-81. (In Russian).
- Michurin S.V., Sultanova A.G., Kazbulatova G.M., Sharipova A.A., Savel'ev D.E., Gorozhanin V.M., Karamova A.M., Voikina Z.A. (2020b) Fluorine and chlorine in carbonate rocks of the Lapsyhta Subformation of the Suran Formation, Lower Riphean (Bagaryshtinsky section, South Urals). *Geologicheskii vestnik – Geological Bulletin*, (3), 3-26. (In Russian).
- 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, geoekologiya i resursnyi potentsial Urala i sopredel'nykh territorii: Materialy IV Vserossiiskoi molodezhnoi geologicheskoi konferentsii* [Geology, geoecology and resource potential of the Urals and adjacent territories: Materials 4th All-Russian Youth Geological Conference]. Ufa, IG UNTs RAN, 39-44. (In Russian).
- Ovchinnikova G.V., Vasil'eva G.V., Semihatov M.A., Kuznetsov A.B., Gorohov I.M., Gorohovskii B.M., Levskii L.K. (1998) U-Pb taxonomy of Proterozoic carbonate rocks: Inzer

Formation of the Ural stratotype of the Riphean (South Urals). *Stratigrafiya. Geol. Korrelyatsiya – Stratigraphy and Geological Correlation*. 6(4), 20-31. (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. *Geokhimiya vulkanicheskikh i osadochnykh porod Yuzhnogo Urala* [Geochemistry of volcanic and sedimentary rocks of the Southern Urals]. Sverdlovsk, UNTs AN SSSR, 35-47. (In Russian).

Shirobokova T.I. (1989) Fluorine and chlorine in the rocks of the Kuzhinsky deposit. *Ezhegodnik-1988* [Yearbook 1988]. Sverdlovsk, IGG UrO AN SSSR, 103-104. (In Russian).

Shirobokova T.I. (1992) *Stratiformnoe polimetallicheskoe i baritovoe orudnenie 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, geokologiya*

i resursnyi potentsial Urala i sopredel'nykh territorii. 7th Vserossiiskaya molodezhnaya geologicheskaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiem [Geology, geocology and resource potential of the Urals and adjacent territories: Collection of articles of the 7th All-Russian youth geological conference with international participation], Ufa, sept., 23-27, 2019. Ufa, RN-BashNIPINeft, 113-118. (In Russian).

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

Yudovich Ya.E., Ketris M.P. (2011) *Geokhimicheskie indikatory litogeneza* (litologicheskaya geokhimiya) [Geochemical indicators of lithogenesis (lithological geochemistry)]. Syktyvkar, Geoprint Publ., 742 p. (In Russian).

Yudovich Ya.E., Maidl T.V., Ivanova T.I. (1980) *Geokhimiya strontsiya v karbonatnykh otlozheniyah (v svyazi s problemoi geokhimicheskoi diagnostiki rifov)* [Geochemistry of strontium in carbonate deposits (in connection with the problem of geochemical diagnostics of reefs)]. Leningrad, Nauka Publ., 152 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

Биктимерова Зирина Ришатовна, Институт Геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа, E-mail: Zirina85@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

Горозханин 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

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

Карамова Алсу Мусаевна, канд. технических наук, Институт Геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН); доцент, БашГУ, 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

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

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

Biktimerova Zirina Rishatovna, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: Zirina85@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

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

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

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, 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

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