

ФТОР В ПОРОДАХ ЗАПАДНО-АКТАШСКОЙ РУДНОЙ ЗОНЫ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

© 2020 г. С.В. Мичурин, Е.О. Калистратова, А.Г. Султанова, Г.М. Казбулатова

Реферат. Изучено распределение фтора в различных литологических типах пород в Западно-Акташской рудной зоне, входящей в состав Акташского рудного поля, расположенного в средне- и верхнерифейских отложениях в южной части Башкирского мегантиклинория, в 15–20 км юго-западнее пос. Верхний Авзян. Установлены изменчивые и сравнительно высокие содержания фтора в песчаниках (<0,01–0,05 мас.%) и сланцах (0,1–0,63 мас.%). Наибольшие содержания фтора, достигающие 1,22 мас.%, выявлены в известковых скарнах, которые образовались в экзо-контактной зоне габбро-долеритов в результате биметасоматического процесса при воздействии слабо- или умереннокислых хлоридно-фторидных постмагматических растворов. Фтор в песчаниках входит в состав преимущественно мусковита и в меньшей степени апатита, в сланцах — мусковита поздней генерации, в известковых скарнах — флюорита. Установлено зональное распределение фтора в сланцах, которое контролируется их положением в разрезе относительно даек габбро-долеритов. Наибольшие содержания фтора отмечаются во вмещающих породах с западной стороны даек. Обогащение сланцев произошло в результате дополнительного привноса фтора постмагматическими флюидами, циркуляция которых происходила уже в складчатой структуре Западно-Акташской рудной зоны. Полученные данные ставят под сомнение связь высоких содержаний фтора в рифейских породах с эвапоритовыми обстановками осадконакопления.

Ключевые слова: фтор, Западно-Акташская рудная зона, F-содержащий мусковит, постмагматические флюиды, флюорит, рифейские отложения, Башкирский мегантиклинорий

FLUORINE IN THE ROCKS OF THE WEST AKTASH ORE ZONE (SOUTH URAL)

© 2020 S.V. Michurin, E.O. Kalistratova, A.G. Sultanova, G.M. Kazbulatova

Abstract. The distribution of fluorine in various lithological types of rocks in the West Aktash ore zone was studied. This zone is part of the Aktash ore field located in the middle and upper riphean sediments in the southern part of the Bashkir meganticlinorium 15–20 km southwest of the village Verkhniy Avzyan. Variable and relatively high fluorine contents were found in sandstones (<0.01–0.05 wt.%) and shales (0.1–0.63 wt.%). The highest fluorine content, reaching 1.22 wt.%, found in calcareous skarns that formed on an exocontact with gabbro-dolerites as a result of a bimetasomatic process when exposed to weakly or moderately acidic chloride-fluoride post-magmatic solutions. Fluorine in sandstones is a part of mainly muscovite and, to a lesser extent, apatite, in shale – muscovite of later generation, and in calcareous skarns – fluorite. The zonal distribution of fluorine in schists is established, which is controlled by their position in the section relative to dikes of gabbro-dolerite. The highest fluorine content is observed in the host rocks on the western side of the dikes. The enrichment of shales occurred as a result of additional fluorine inflow by post-magmatic fluids, the circulation of which took place in the already folded structure of the West Aktash ore zone. The obtained data cast doubt on the relationship of high fluorine contents in Riphean rocks with evaporite sedimentation conditions.

Key words: fluorine, West Aktash ore zone, F-containing muscovite, post-magmatic fluids, fluorite, riphean deposits, Bashkir meganticlinorium

Для цитирования: 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. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2020-2-5>.

For citation: Michurin S.V., Kalistratova E.O., Sultanova A.G., Kazbulatova G.M. Fluorine in the rocks of the West Aktash ore zone (South Ural) // Geologicheskii vestnik. 2020. No.2. P. 54–71. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2020-2-5>.

Введение

В рифейских осадочных породах Башкирского мегантиклинория ранее проведенными исследованиями геохимии фтора в известняках, доломитах, алевролитах и аргиллитах установлены его высокие содержания, превышающие кларковые в два-три раза, что связывалось с эвапоритовыми обстановками осадконакопления [Анфимов, Ковальчук, 1980; Парначев, 1987; Анфимов и др., 1987; Широкова, 1989, 1992; Крупенин и др., 2012]. Выполненное нами геохимическое изучение пород из различных обнажений суранской и большеинзерской свит нижнего рифея [Мичурин и др., 2018, 2019; Султанова и др., 2019], подтвердило высокие концентрации в них фтора и хлора. Установлено, что хлор в осадочных карбонатных и терригенно-карбонатных породах находится преимущественно в виде солевых растворов во флюидных включениях карбонатов, а главным минералом-носителем фтора является F-содержащий мусковит, в меньшей степени — фторапатит и еще реже — флюорит. Содержания хлора увеличиваются в ряду «известняки–доломиты–магнезиты», подтверждая метасоматическую природу доломитов и магнезитов из эвапоритовых флюидов/рассолов. При этом выявлена обратная связь между содержаниями в породах фтора и хлора и сделан вывод, что имеющиеся в настоящее время данные не позволяют однозначно утверждать о связи высоких содержаний фтора в рифейских породах с эвапоритовыми обстановками осадконакопления. В настоящем сообщении авторами обсуждаются закономерности поведения фтора в породах кужинской и биктимирской свит среднего рифея Западно-Акташской рудной зоны и предпринимается попытка выяснить природу его высоких концентраций.

Геологическое положение

Западно- и Восточно-Акташская рудные зоны (рис. 1), граничащие по Караташскому региональному разлому, входят в состав Акташского рудного поля [Рыкус, Сначев, 2014], расположенного в средне- и верхнерифейских отложениях в южной части Башкирского мегантиклинория, в 15–20 км юго-западнее пос. Верхний Авзян. Западно-Акташская рудная зона объединяет Западно-Акташское рудопроявление золота и Куртмалинское месторождение бурых железняков, выходы которых во вмещающих сланцах протягиваются меридиональной полосой в ~1 км западнее Караташского разлома. Запасы

Куртмалинского месторождения по категориям C_1+C_2 оцениваются в 4.04 млн т [Радченко и др., 1973 г.]. Субмеридиональную зону Западно-Акташского рудопроявления выделяют [Рыкус, Сначев, 2014] восточнее Куртмалинского месторождения на расстоянии около 500 м. Рудопроявление относится к золото-джаспероидному формационному типу и приурочено к метасоматически измененным карбонатным породам магнезиально-железистого состава, на которые накладываются окварцевание и баритизация [Рыкус, Сначев, 2014; Сначев, Сначев, 2019]. Кроме того, в центральной части Западно-Акташской рудной зоны известны [Радченко и др., 1973 г.] выходы баритовых жил, мощностью до 30 см, и точки медной минерализации в песчаниках (содержание Cu составляет 0.25–6.17 мас. %), также протягивающиеся субмеридионально. В южной части зоны расположено отработанное Кальтивское месторождение россыпного золота.

Восточно-Акташская рудная зона включает Восточно-Акташское рудопроявление мало-сульфидного золото-кварцевого типа [Рыкус, Сначев, 2014; Шарипова и др., 2017; Сначев, Сначев, 2019], приуроченное к экзо- и эндоконтактам дайки габбро-диоритов (?), прорывающей верхнерифейские известняки катавской свиты, и месторождение россыпного золота Куртмаля (Акташское), расположенное по ручьям Скотский и Акташский (прежние названия соответственно Акташ и Куртмалка) (см. рис. 1). Месторождение отработано в конце XIX – начале XX века, добыто около 65 кг золота.

Вмещающие породы Куртмалинского месторождения геологами-поисковиками [Радченко и др., 1973 г.; Куширова, 1994 г.; Филонов и др., 2003 г.] относились к туканской подсвите зигазино-комаровской свиты среднего рифея, а Западно-Акташского рудопроявления золота — к куткурской подсвите авзянской свиты среднего рифея. На государственной геологической карте Южно-Уральской серии (лист N-40-XXII) отложения западнее Караташского разлома в районе г. Акташ Н.Н. Ларионовым и А.А. Цветковой [2003] отнесены к кужинской и биктимирской свитам (см. рис. 1), являющимися стратиграфическими аналогами каташкинской, малоинзерской и ушаковской подсвит авзянской свиты среднего рифея. Выделение кужинской и биктимирской свит обусловлено их отличием по литологическому и фациальному составу, строению и металлогенической специализации [Филлипов, 1983; Шефер, Ларионов, 2000; Ларионов и др., 2015]. К отложениям кужинской свиты в Западнобашкирской

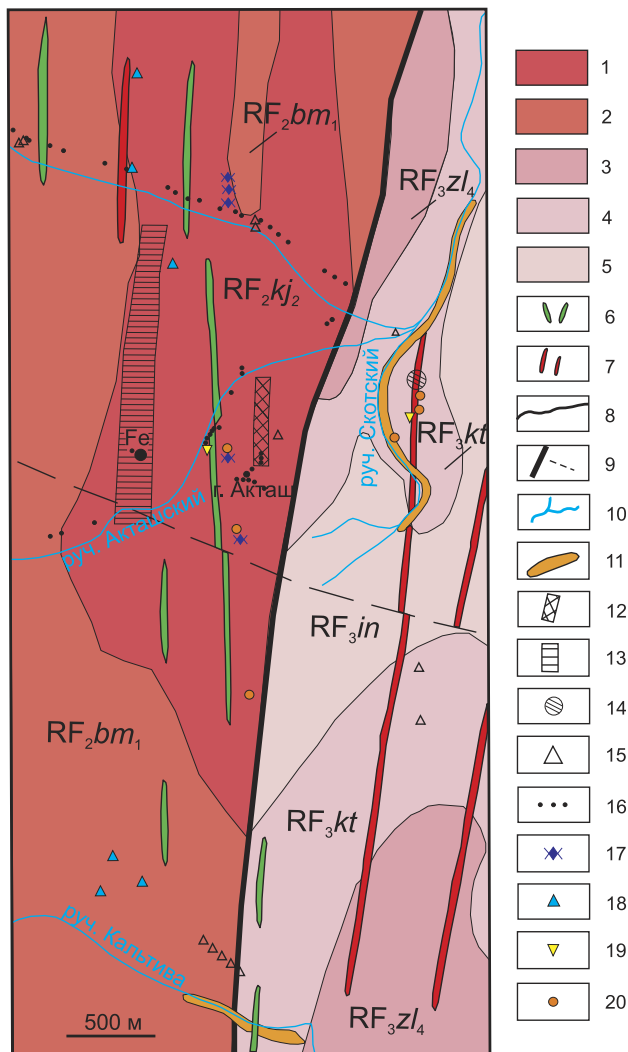


Рис. 1. Геологическая схема Акташского рудного поля (по [Ларионов, Цветкова, 2003] с дополнениями из материалов [Радченко и др., 1973 г.; Куширова, 1994 г.; Филонов и др., 2003 г.; Рыкус, Сначев, 2014])

Условные обозначения: 1–2 — отложения среднего рифея, свиты: 1 — кужинская, нижняя подсвита (RF_2kj_1), 2 — биктимирская, верхняя подсвита (RF_2bm_2); 3–5 — отложения верхнего рифея, свиты: 3 — зильмердакская (RF_3zl_4), 4 — катавская (RF_3kt), 5 — инзерская (RF_3in); 6–7 — дайки магматических пород: 6 — габбро-долериты, 7 — кварцевые диориты (по [Куширова, 1994 г.]); 8 — границы свит; 9 — тектонические нарушения различного порядка; 10 — ручьи; 11 — месторождения россыпного золота; 12 — зона Западно-Акташского рудопроявления золота; 13 — зона Куртмалинского месторождения бурых железняков; 14 — Восточно-Акташское рудопроявление золота; 15 — выходы жильного кварца; 16 — точки отбора проб; 17 — выходы баритовых жил и баритизация в песчаниках; 18 — выходы бурых железняков; 19 — точки флюоритовой минерализации; 20 — точки медной минерализации.

Fig. 1. Geological scheme of the Aktash ore field (according to [Larionov, Tsvetkova, 2003] with additions from materials [Radchenko et al., 1973 y.; Kushirova, 1994 y.; Filonov et al., 2003 y.; Rykus, Snachev, 2014])

Legend: 1–2 — deposits of the Middle Riphean, Formations: 1 — Kuzhinsky, upper subformations (RF_2kj_2), 2 — Biktimir, lower subformations (RF_2bm_1); 3–5 — deposits of the Upper Riphean, Formations: 3 — Zilmerdak (RF_3zl_4), 4 — Katavian (RF_3kt), 5 — Inzerskaya (RF_3in); 6–7 — dykes of igneous rocks: 6 — gabbro-dolerites, 7 — quartz diorites (according to [Kushirova, 1994 y.]); 8 — the boundaries of the Formation; 9 — tectonic disturbances of various orders; 10 — streams; 11 — placer gold deposits; 12 — zone of the West Aktash ore occurrence of gold; 13 — zone of the Kurtmalinsky brown iron ore deposit; 14 — East Aktash ore occurrence of gold; 15 — vein quartz outcrops; 16 — sampling points; 17 — outcrops of barite veins and barite in sandstones; 18 — outcrops of brown iron ore; 19 — points of fluorite mineralization; 20 — points of copper mineralization.

структурно-фациальной зоне приурочены Кужинское барито-полиметаллическое месторождение и ряд мелких рудопроявлений барита. Ее характерными особенностями являются карбонатно-терригенный состав и пестроцветная окраска пород. В настоящей статье используется выделение стратиграфических подразделений по Н.Н. Ларионову и А.А. Цветковой [2003].

Биктимирская свита представлена ритмами, состоящими из тонкого чередования мелкозернистых полевошпат-кварцевых песчаников и сланцев алевропелитовых черных, в верхней части свиты — доломитами, которые являются маркирующим горизонтом [Филлипов, 1983; Шефер, Ларионов, 2000; Ларионов и др., 2015].

В Западно-Акташской рудной зоне в составе кужинской и биктимирской свит, по нашим данным, преобладают сланцы, в них отмечаются прослои песчаников, известняков и доломитов.

Магматические образования Западно-Акташской рудной зоны представлены дайками габбро-долеритов, не имеющих на сегодняшний день датировок абсолютного возраста. Предыдущими исследователями [Куширова, 1994 г.] все дайки Акташской площади, включая Западно- и Восточно-Акташскую зоны, объединялись в Акташский вендско-палеозойский габбро-диорит-гранитный комплекс с щелочным уклоном. Н.Н. Ларионовым с соавторами [Ларионов, Цветкова, 2003; Ларионов и др., 2015] они отнесены к Юрматаускому комплексу предположительно раннедевонского возраста (одна дайка — к Повальненскому комплексу, ~1050 млн лет). Отметим, что по петрохимическим особенностям, а именно по содержанию титана и щелочей (главным образом, калия), габбро-долериты Западно-Акташской зоны ($TiO_2 = 1.68$; $Na_2O = 2.87$; $K_2O = 1.54$ мас. % [Мичурин и др., 2020] и данные в настоящей статье) наиболее близки магматическим

породам Инзерского комплекса (670–925 млн лет, по [Алексеев, 1984]). Если рассматривать дайки Восточно-Акташской рудной зоны ($\text{TiO}_2 = 3.53$; $\text{Na}_2\text{O} = 2.74$; $\text{K}_2\text{O} = 2.72$ мас.%, наши данные) как разновозрастные образования с Западно-Акташскими интрузиями, то по петрохимическим особенностям магматические породы Акташского рудного поля наиболее близки Миселинскому комплексу щелочных габброидов (618–671 млн лет, по [Алексеев, 1984]). В палеозойских комплексах среднее содержание суммы щелочей ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) обычно ниже 3 мас.%, а K_2O ниже 1 мас.% [Алексеев, 1984; Ларионов и др., 2015].

Методика исследования

На площади Западно-Акташской рудной зоны изучено около 60 образцов пород разного литологического состава, в том числе сланцев — 29, песчаников — 5, карбонатных пород — 7, габбро-долеритов — 16, жильного кварца — 3, шлиховых проб — 2. Образцы отбирались при полевых исследованиях в 1992 г. под руководством А.С. Бобохова, а также в 2011 г. и 2018 г. Небольшая часть образцов предоставлена В.Н. Никоновым. Все исследования выполнены в ИГ УФИЦ РАН.

Химический состав проб и содержание в них редких элементов определяли рентгенофлуоресцентным анализом (аналитик В.Ф. Юлдашбаева), который проводился на спектрометре VRA-30 (Германия) (W-анод, 40 кВ, 30 мА). Истертые пробы весом 5 г со связующим веществом (5 капель ПВС-8) прессовались при давлении 25–27 т/см² на подложке из борной кислоты. Предел обнаружения при измерении SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O составлял 0.1 мас.%; TiO_2 , Fe_2O_3 , MnO , CaO , K_2O , P_2O_5 , $S_{\text{общ}}$ — 0.01 мас.%; MgO — 0.2 мас.%; Cl — 20 г/т, других редких элементов — 5–10 г/т.

По образцам карбонатных пород ($n = 5$) и сланцев ($n = 13$) проводились термогравиметрический и рентгенофазовый анализы. Термический анализ выполнялся 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). Рентгенофазовый анализ проводился на дифрактометре ДРОН-4 (аналитик Г.С. Ситдикова). Съемка выполнялась в $\text{Cu K}\alpha$ излучении с шагом 0.02 ° и временем счета, равным 10 с. Для расчетов использовалась длина волны $\text{K}\alpha_1 = 1.54060 \text{ \AA}$, полученная при напряжении и токе на рентгеновской трубке 40 кВ и 40 мА. Определение минералов проводилось по набору их межплоскостных рассто-

яний и относительным интенсивностям соответствующих линий на дифрактограмме, ориентируясь на отражения минералов из открытой базы данных МИНКРИСТ Института экспериментальной минералогии РАН (Черноголовка).

Во всех пробах определялось содержание фтора фотометрическим методом посредством образования ализаринкомплексоната фторида лантана. Предел обнаружения составлял 0.01 мас.%. Детально ход выполнения анализа с некоторыми усовершенствованиями известной методики [Хализова и др., 1976] приводится в работе [Карамова и др., 2019].

Результаты исследования

Петрография

Сланцы кужинской и биктимирской свит в Западно-Акташской рудной зоне петрографически очень схожи. Структура их — преимущественно лепидогранобластовая, реже гранолепидобластовая, лепидобластовая и гломеро-лепидобластовая, текстура — волнисто-слоистая, волнисто-линзовидная, полосчатая, обусловленная наличием волокнистых и чешуйчатых агрегатов мусковита и волнистых невыдержанных слоев и прожилков углеродистого вещества. В минералогическом составе преобладают кварц (50–59%) и мусковит (28–40%), отмечаются полевые шпаты (альбит, калиевый полевой шпат) и хлорит (по 3–5%), гидроокислы железа (2–5%) и углеродистое вещество (5–7%). Из акцессорных минералов присутствуют титанит, циркон, пирит, редко — эпидот, турмалин.

Кварц в основной массе сланцев тонко-микрорезистентный, размером <0.01–0.03 мм, неправильной формы, с однородным и волнистым погасанием, а также в виде вкрапленников преимущественно линзовидной уплощенной, иногда угловатой формы, вытянутых по слоистости, размером до 0.08–0.15 мм, имеющих однородное погасание. Выделяются две основные генерации мусковита. Мусковит-1 ранней генерации в основной массе образует волокнистые, чешуйчатые агрегаты, иногда пигментированные гидроокислами железа, и находится, как правило, в ассоциации с углеродистым веществом. В подчиненном количестве в породе отмечаются вытянутые тонкие и крупные, а также таблитчатые лейсты бесцветного мусковита-2 поздней генерации размером до 0.03–0.12 мм, разноориентированные и расположенные под углом к слоистости (рис. 2). Они приурочены в основном к вкрапленникам кварца, с которыми также ассоциируют

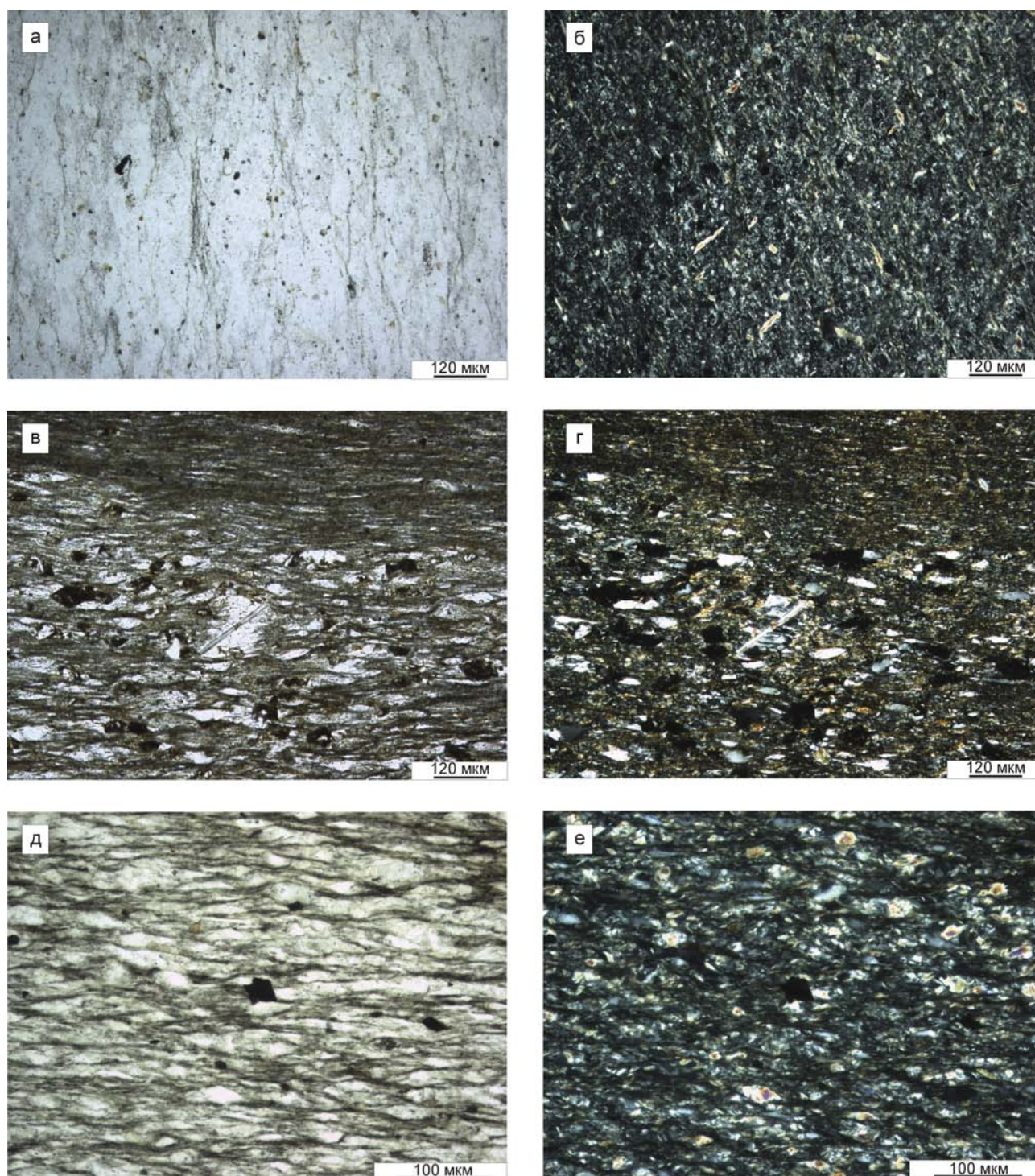


Рис. 2. Поздняя генерация мусковита-2 в сланцах Западно-Акташской рудной зоны

а, б — разноориентированные тонкие лейсты мусковита, расположенные под углом к слоистости (Б-9226); в, г — лейсты мусковита, ориентированные под углом к слоистости в слюдисто-кварцевом сланце (Б-9289); д, е — таблитчатые лейсты мусковита-2 в основной массе породы (Б-9294). Увеличение 100. а, в, д — без анализатора. б, г, е — с анализатором.

Fig. 2. Late generation of muscovite-2 in shales of the West Aktash ore zone

а, б — differently oriented thin muscovite leaves, located at an angle to the bedding (B-9226); в, г — muscovite sheets, oriented at an angle to the layering in the mica-quartz slate (B-9289); д, е — tabular leafllets of muscovite-2 in the bulk of the breed (B-9294). Magnification 100. а, в, д — without analyzer. б, г, е — with an analyzer.

полевые шпаты (альбит, КПШ). В калиевом полевом шпате «микроклиновая решетка» не отмечается. Изредка выделяются узкие тонкие лейсты мусковита, развитые в тесном сростании с хлоритом. Отношение мусковита-1 к мусковиту-2 в основной массе составляет примерно 4:1. Хлорит в основной массе слагает линзочки неправильной формы, уплощенные по слоистости, размером до 0.15–0.2 мм. Бледно-зеленые чешуйчатые агрегаты хлорита, имеющие аномальные чернильно-синие цвета интерференции (пеннин), в этих линзочках расположены под углом к слоистости. Углеродистое вещество в сланцах в виде примеси слагает невыдержанные волнистые слои и прожилки, а также образует скопления микросноподобных агрегатов и частично выполняет открытые трещины.

Акцессорные минералы — циркон (размером до 0.005–0.02 мм) и титанит (размером до 0.03–0.04 мм) — представлены зернами неправильной формы, равномерно распределенными в породе. В образцах сланцев верхней толщи кужинской свиты (Б-9217, Б-9218), отобранных вблизи дайки габбро-долеритов с восточной стороны в 5–10 м, отмечаются редкие идиоморфные кристаллы эпидота размером до 0.03 мм, насыщенно-зеленой окраски, плеохроирующие до желто-зеленых оттенков. В одном образце сланца (Б-9294), отобранном вблизи кварцевых жил в северо-западной части зоны, встречены единичные зерна турмалина, который отмечается в виде редких вкрапленников призматической формы — в продольных сечениях, или правильных и скошенных шестиугольников и треугольников — в поперечных сечениях, размером 0.02–0.05 мм (редко до 0.1 мм). Турмалин имеет зональное строение. По контуру — буроватые оттенки, в центральной части — сине-зеленые, плеохроирующие до фиштоватых оттенков. В этом же образце отмечается повышенное содержание пирита до 3%. В целом в сланцах встречаются редкие зерна сульфидов (пирита?) неправильной формы размером до 0.03 мм, которые в основной массе образуют рассеянную равномерную вкрапленность или зернистые агрегаты неправильной формы размером до 0.15 мм. Часто отмечаются многочисленные пустоты от выщелоченных сульфидов правильной субизометрической, квадратной и ромбовидной формы, по зернистым агрегатам — неправильной формы, размером до 0.55 мм, как правило, окаймленные гидроокислами железа. В центральной части некоторых пустот отмечаются агрегаты вторичного кварца. Гидроокислы железа преимущественно сопровождают прожилки и про-

слойки углеродистого вещества, развиты вдоль кварцевых прожилков, иногда вытягиваются в виде прожилковых включений размером до 1.5 мм по удлинению.

Сланцы часто пронизаны сетью прожилков мощностью до 0.2–0.3 мм, крутонаклонных по отношению к слоистости, выполненных тонко-мелкокристаллическим кварцем, в интерстициях с мусковитом и гидроокислами железа, ксеноморфным, с однородным погасанием, который заполняет трещины по типу друзового цемента (вдоль стенок шестоватый тонкокристаллический кварц, в центральной части — мелкокристаллический).

В кужинской свите отмечаются прослой кварцевых алевропесчаников рассланцованных, имеющих разнозернистую структуру и сланцеватую текстуру, обусловленную наличием кливажных трещин, выполненных хлоритом. Основным минералом в песчаниках является кварц с инкорпорационными контактами зерен, второстепенными — гематит в виде мелких и крупных вкрапленников размером до 0.5 мм, развитых вдоль кливажных трещин, а также хлорит в виде волосовидных слоев. Такие песчаники развиты в районе г. Акташ (проба Н-1015).

Петрографическое изучение интрузивных магматических пород проведено по габбро-долеритам ($n=10$), дайка которых мощностью около 30 м обнажается в центральной части Западно-Акташской рудной зоны. Согласно Н.Н. Ларионову с соавторами [Ларионов, Цветкова, 2003; Ларионов и др., 2015], дайка относится к Юрматаускому магматическому комплексу предположительно раннедевонского возраста. Установлено неоднородное строение дайки, выраженное преимущественно в вариации структур пород (габбровая для габбро и лейкогаббро, габбро-офитовая для габбро-долеритов, долеритовая для долеритов) при их довольно близком минералогическом составе. Текстура пород массивная, в некоторых образцах отмечаются элементы миндалекаменной текстуры. Основная парагенетическая ассоциация пород представлена основным плагиоклазом, сильно измененным до перехода в сосюрит, клинопироксеном (диопсидом) и рудным минералом (титаномагнетитом). Второстепенными минералами с переменным количеством в разных образцах являются хлорит трех разновидностей; амфиболы — роговая обманка, актинолит; кислый плагиоклаз, кварц, титанит, цеолит, кальцит, апатит. Все образцы из дайки габбро-долеритов в различной степени изменены, вторичные изменения выражены в сосюритизации основного

плаггиоклаза и обрастании его каемками кислого плаггиоклаза, уралитизации и хлоритизации клинопироксена, хлоритизации роговой обманки, окислении рудных минералов. Характерной особенностью пород является наличие мирмекитоподобных тончайших симплектитовых сростаний кислого плаггиоклаза и калиевого полевого шпата, которые широкими зонами фиксируются в интерстициальном пространстве между основными породообразующими минералами, как правило, на границах кристаллов плаггиоклаза. Они расположены, как правило, закономерно — образуют сеть, либо расходятся веерообразно к периферии плаггиоклаза. Редко отмечаются микропегматитовые сростания кварца и калиевого полевого шпата. В некоторых образцах отмечаются миндалины изометричной, округлой формы размером до 3.5 мм, имеющие сложное строение. Миндалины выполнены хлоритом, часто по контуру и внутри них в виде вкрапленников развиты цеолиты. В некоторых миндалинах встречаются «захваченные» участки вмещающих пород, единично встречаются корродированные кристаллы кальцита.

На западном контакте дайки габбро-долеритов отмечаются выходы известняков, которые, как показало проведенное изучение [Мичурин и др., 2020], представляют собой известковые скарны. Их структура — лепидогранобластовая, гранобластовая, равномернoзернистая, тонкокристаллическая, текстура — полосчатая. Структура обусловлена наличием лейст мусковита, тонкопризматических и радиально-лучистых агрегатов пренита, а также зерен и кристаллов кальцита, флюорита, граната, пироксена. Текстура пород определяется полосчатым распределением кальцита разного размера, подчеркнутым послонным выделением пренита, флюорита, мусковита в интерстициальном пространстве между кристаллами кальцита, а также иногда неясным послонным распределением рассеянной примеси углеродистого вещества. Детальное петрографическое описание скарнов выполнено нами ранее и приводится в работе [Мичурин и др., 2020]. Здесь же только отметим, что по результатам петрографического изучения последовательность образования минералов в них представляется следующей: кальцит-1+флюорит+пироксен+гранат-1 → пренит-1+мусковит → кальцит-2+гранат-2 → пренит-2.

Минералогия и геохимия

По результатам термогравиметрического анализа почти во всех пробах сланцев отмечаются три эндотермических эффекта с максимальными темпе-

ратурами 80 °С, 520–600 °С и 620–750 °С, обусловленные потерей адсорбционной и структурно связанной воды хлоритом и мусковитом (табл. 1). В одном образце (Б-9284) установлен эндотермический эффект при 320 °С, наиболее вероятно, связанный с дегидратацией гетита. Эффекты плавные, у хлорита начинаются при температурах 400–510 °С, мусковита — 540–650 °С. Для расчета содержания этих минералов в пробах использовали массовую долю гидроксильной группы в хлорите (клинохлоре) — 13, мусковите — 4,5 мас. %. В большинстве проанализированных проб содержание хлорита сравнительно невысокое, колеблется от 2 до 7 мас. %, и только в одной пробе (Б-9284) составляет ~26 мас. %. Содержание мусковита в сланцах Западно-Акташской рудной зоны по результатам термогравиметрического анализа в среднем равно 45 мас. % при его вариациях в пробах от 29 до 57 мас. %.

В минералогическом составе сланцев Западно-Акташской рудной зоны по результатам рентгенофазового анализа установлены в %: кварц (21–55), мусковит (37–60), альбит (2–8), калиевый полевой шпат (2–15), клинохлор (0–14), доломит (1–14), гетит (0–2) (табл. 2). Выделено две разновидности мусковита, имеющие различные главные рентгеновские отражения: мусковит-1 (Ms-1) — 9.93–9.98 Å; мусковит-2 (Ms-2) — 4.96 и 2.86 Å (рис. 3). Среднее содержание кварца и мусковита по результатам рентгенофазового анализа составляет в пробах сланцев ~35% и ~49% соответственно.

Химический состав сланцев по результатам рентгенофлуоресцентного анализа (FeO определяли «мокрой» химией, аналитик С.А. Ягудина), карбонатных пород, песчаников, габбро-долеритов, шлиховых проб Западно-Акташской рудной зоны и содержание в них редких элементов и фтора (фотометрический метод) приводится в таблицах 3–5. Содержания петрогенных оксидов в сланцах верхней подсвиты кужинской свиты относительно сильно варьируют (мас. %): SiO₂=45.93–71.47; TiO₂=0.62–1.32; Al₂O₃=15.58–26.98; Fe₂O₃=1.77–12.36; MnO <0.01–0.06; CaO=0.02–1.16; MgO=1.00–6.66; Na₂O=0.19–1.33; K₂O=1.75–8.65; P₂O₅<0.01–0.47. В образце Б-9284 с минимальным содержанием SiO₂ в сланцах установлено максимальное содержание Fe₂O₃ и MgO, соответственно 12.36 и 6.66 мас. %. Средние содержания бария в сланцах кужинской и биктимирской свит на исследуемой площади практически одинаковы. В выборке сланцев биктимирской свиты наименьшие содержания бария (563–665 г/т) отмечаются в двух пробах, отобранных на западной границе участка.

Таблица 1

Температуры эндотермических эффектов и содержание хлорита и мусковита в сланцах Западно-Акташской рудной зоны по результатам термогравиметрического анализа

Table 1

Temperature of endothermic effects and the content of chlorite and muscovite in shales of the West Aktash ore zone according to the results of thermogravimetric analysis

№ обр.	Хлорит			Мусковит			Другие термические эффекты		Общая потеря веса
	T, °C	П. в.	Сод.	T, °C	П. в.	Сод.	T, °C	П. в.	
Б-9217	440- 520	0.9	7	620- 700	1.3	29	80	1.5	3.7
Б-9226	500- 600	0.2	2	620- 750	1.8	40	80	0.6	2.6
Б-9281	—	—	—	540- 700	2.2	49	80	1.0	3.2
Б-9282	460- 550	0.2	2	510- 620	1.9	41	80	1.2	3.3
Б-9284	440- 580	3.4	26	650- 680	1.7	38	80; 320	2.1; 0.7	7.9
Б-9285	470- 570	0.3	2	620- 710	2.1	47	80	0.7	3.1
Б-9289	500- 550	0.4	3	590- 710	2.2	49	80	1.3	3.9
Б-9290	480- 530	0.9	7	590- 650	2.3	52	80	1.8	5.0
Б-9291	500- 600	0.6	5	570- 660	2.4	53	80	1.0	4.0
Б-9292	500- 590	0.8	6	570- 620	2.2	49	80	1.2	4.1
Б-9294	510- 570	0.5	4	580- 650	2.5	57	80	1.3	4.3
Б-9295	400- 520	0.6	5	560- 660	1.6	36	80	1.1	3.3

Примечание: жирным выделены максимумы эндотермических эффектов. Прочерк — эффект отсутствует. П. в. — потеря веса, мас. %; Сод. — содержание минерала в пробе, %. Общая потеря веса в мас. %.

Note: The maxima of the endothermic effects for Chlorite and Muscovite separately are marked in bold. Dash — no effect. П. в. — weight loss, wt. %; Сод. — mineral content in the sample, %. Total weight loss in wt. %.

Таблица 2

Минералогический состав сланцев (в %) Западно-Акташской рудной зоны по результатам рентгенофазового анализа и содержание в них фтора (мас. %)

Table 2

The mineralogical composition of the shales (%) of the West Aktash ore zone according to the results of x-ray phase analysis and their fluorine content (wt. %)

№ обр.	Qz	Ms-1	Ms-2	Ab	Mc	Clc	Dol	Gt	F	Ms-2/Ms-1
Б 9217	40	23	15	2	15	2	2	1	0.10	0.66
Б-9226	55	16	21	4	3	<1	1	<1	0.63	1.27
Б-9280	33	22	21	3	5	<1	14	<1	0.56	0.96
Б-9281	35	31	18	3	11	<1	2	<1	0.14	0.58
Б-9282	46	24	13	5	7	3	1	<1	0.11	0.53
Б-9284	31	27	18	2	4	14	1	2	0.16	0.67
Б-9285	28	38	20	3	10	<1	1	<1	0.15	0.53
Б-9289	43	29	20	3	3	<1	1	<1	0.35	0.70
Б-9290	28	37	24	6	2	2	1	<1	0.11	0.64
Б-9291	25	33	21	6	6	8	1	<1	0.12	0.62
Б-9292	21	34	22	5	3	13	1	<1	0.15	0.65
Б-9294	26	33	25	6	3	4	1	<1	0.18	0.76
Б-9295	37	31	20	8	3	<1	1	<1	0.08	0.63

Примечание: Qz — кварц; Ms-1-2 — мусковиты разных генераций, имеющие разные рентгеновские отражения; Ab — альбит; Mc — калиевый полевой шпат; Clc — клинохлор; Dol — доломит; Gt — гетит; F — содержание фтора.

Note: Qz — quartz; Ms-1-2 — muscovites of different generations having different x-ray reflections; Ab — albite; Mc — potassium feldspar; Clc — clinochlor; Dol — dolomite; Gt — goethite; F — the fluorine content.

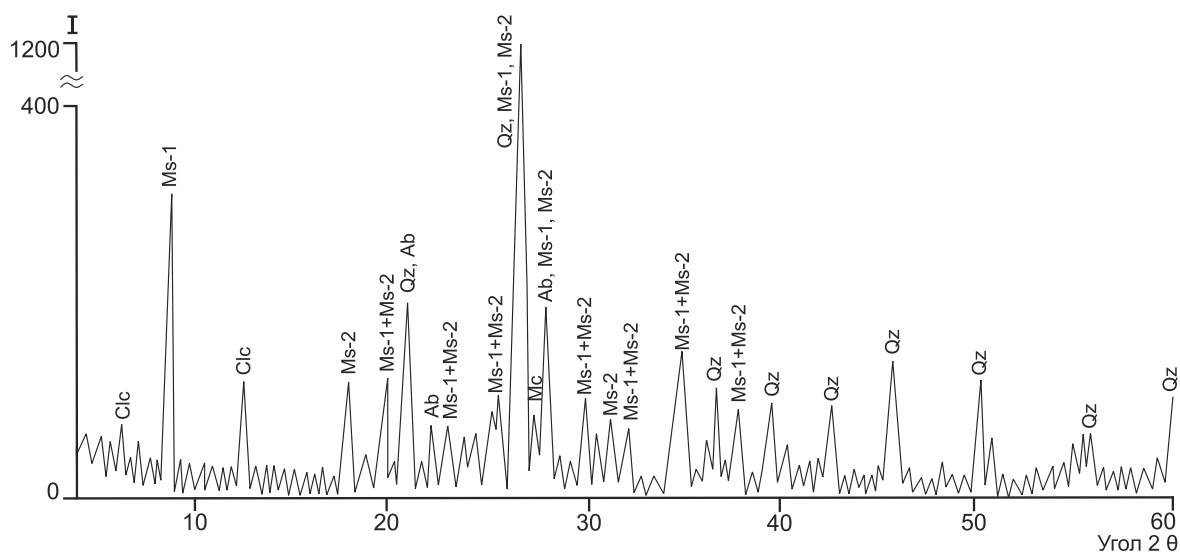


Рис. 3. Диффрактограмма слюдисто-кварцевого сланца (B-9291) из нижней подсвиты биктимирской свиты в Западно-Акташской рудной зоне

Примечание: Qz — кварц; Ms-1–2 — мусковиты разных генераций; Ab — альбит; Mc — калиевый полевой шпат; Clc — клинохлор.

Fig. 3. A diffractogram of mica-quartz schist (B-9291) from the lower sub-formation of the Biktimir Formation in the West Aktash ore zone

Note: Qz — quartz; Ms-1–2 — muscovites of different generations; Ab — albite; Mc — potassium feldspar; Clc — Clinoclhor.

Таблица 3

Средние содержания петрогенных оксидов (мас. %), редких элементов и фтора (г/т) в сланцах, габбро-долеритах и шлиховых пробах Западно-Акташской рудной зоны

Table 3

Average contents of petrogenic oxides (wt. %), Rare elements and fluorine (g/t) in schists, gabbro-dolerites and schlich samples of the West Aktash ore zone

Элемент	1	2	3	4	5
	n = 20	n = 9	n = 15	n = 1	n = 2
SiO ₂	60.98	58.17	47.71	47.80	72.78
TiO ₂	0.85	0.91	1.68	0.96	1.50
Al ₂ O ₃	20.36	20.05	14.92	14.44	9.89
Fe ₂ O _{3,общ}	5.68	5.35	5.08	1.60	8.00
FeO	–	–	7.81	7.54	–
MnO	0.02	0.02	0.18	0.14	0.13
MgO	2.79	2.98	6.94	7.24	1.79
CaO	0.18	0.33	8.76	12.88	0.65
Na ₂ O	0.49	0.75	2.87	2.71	0.38
K ₂ O	5.11	6.55	1.54	1.41	2.42
P ₂ O ₅	0.07	0.10	0.14	0.11	0.11
S _{общ}	<0.01	<0.01	0.03	0.07	0.02
ППП	3.67	4.27	2.10	2.04	3.08
Sc	9	8	40	31	11
V	107	113	316	210	125
Cr	66	65	81	120	143
Co	16	15	53	41	16
Ni	26	22	115	159	39
Cu	88	85	165	119	46

Элемент	1	2	3	4	5
	n = 20	n = 9	n = 15	n = 1	n = 2
Zn	56	56	115	105	54
As	<20	<20	<20	<20	25
Rb	158	217	44	41	73
Sr	48	37	135	100	65
Zr	175	180	79	41	194
Ba	904	924	653	346	981
Pb	10	12	<10	<10	17
Cl	72	74	185	183	65
F	1432	1975	277	178	610
сумма	100.18	100.04	99.75	98.95	101.043

Примечание: 1 — сланцы верхней толщи кужинской свиты (образцы: Б-9217, Б-9218, Б-9226–Б-9228, Б-9230, Б-9272–Б-9278, Б-9282, Б-9284, Б-9285, Б-9296, Б-9298–Б-9300); 2 — сланцы нижней толщи биктимирской свиты (образцы: Б-9223, Б-9280, Б-9281, Б-9289–Б-9292, Б-9294, Б-9295); 3 — габбро-долериты Юрмагауского (?) комплекса (образцы: М-1120–М-1125, М-1127–М-1129, Б-9212–Б-9214, Н-1007, Б-9283, Б-9286); 4 — габбро-долериты Повальненского (?) комплекса (проба Б-9287); 7 — шлиховые пробы из руч. Акташский (М-1036, М-1037); n — количество образцов.

Note: 1 — shales of the upper thickness of the Kuzhin Formation (samples: B-9217, B-9218, B-9226–B-9228, B-9230, B-9272–B-9278, B-9282, B-9284, B-9285, B-9296, B-9298–B-9300); 2 — shales of the lower stratum of the Biktimir Formation (samples: B-9223, B-9280, B-9281, B-9289–B-9292, B-9294, B-9295); 3 — gabbro-dolerites of the Yurmatau (?) complex (samples: M-1120–M-1125, M-1127–M-1129, B-9212–B-9214, N-1007, B-9283, B-9286); 4 — gabbro-dolerites of the Povalensky (?) complex (sample B-9287); 7 — schlich samples from the Aktashsky stream (M-1036, M-1037); n — the number of samples.

Таблица 4

Содержания петрогенных оксидов (мас. %), редких элементов и фтора (г/т)
в карбонатных породах верхней толщи кужинской свиты Западно-Акташской рудной зоны

Table 4

The content of petrogenic oxides (wt. %), Rare elements and fluorine (g/t)
in carbonate rocks of the upper stratum of the Kuzhin formation of the West Aktash ore zone

Элемент	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂	10.08	3.90	9.43	58.62	25.66	30.77	31.53
TiO ₂	0.04	0.04	0.07	1.35	0.19	0.06	0.06
Al ₂ O ₃	3.76	0.68	2.10	12.77	2.62	1.43	0.89
Fe ₂ O ₃ общ	1.01	0.78	1.30	11.60	4.20	3.75	3.80
FeO	–	–	–	–	–	–	5.75
MnO	0.03	0.03	0.04	0.16	0.12	0.13	0.56
MgO	3.00	3.16	2.40	4.72	15.08	12.07	9.60
CaO	45.77	46.21	48.44	5.11	20.50	21.74	19.00
Na ₂ O	0.54	0.25	0.25	3.19	0.27	0.24	0.10
K ₂ O	0.01	0.34	0.63	0.99	0.81	0.47	0.27
P ₂ O ₅	0.10	0.12	0.11	0.27	0.17	0.03	0.04
S _{общ}	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02
ППП	30.60	45.27	34.40	2.09	29.45	30.14	27.71
Sc	<5	<5	<5	24	8	–	–
V	17	14	<10	196	36	16	27
Cr	<10	<10	<10	58	<10	<10	16
Co	<5	<5	<5	54	<5	10	15
Ni	<10	<10	<10	73	<10	<10	14
Cu	<10	<10	<10	370	<10	16	<10
Zn	<10	<10	<10	50	<10	11	25
As	<20	<20	<20	22	<20	<20	<20
Rb	<10	10	<10	60	37	<10	<10
Sr	128	149	152	131	125	68	32
Zr	20	25	29	104	41	23	<10

Элемент	1	2	3	4	5	6	7
Ва	98	124	160	135	118	885	4994
РЬ	<10	<10	<10	14	15	<10	<10
Сl	89	107	85	154	85	96	150
F	12249	249	729	234	494	490	151
сумма	97.02	100.88	99.39	101.08	99.23	100.842	99.337

Примечание: 1–3 — известняки в 2–3 м от западного контакта с габбро-долеритами (М-1130–М-1132); 4 — контакт габбро-долеритов и известняков (М-1133); 5 — доломитовая брекчия? в 50–100 м от западного контакта с габбро-долеритами (М-1134); 6 — доломит (Б-9279); 7 — анкерит (Н-1002-2).

Note: 1–3 — limestones 2–3 m from the western contact with gabbro-dolerites (M-1130–M-1132); 4 — contact of gabbro-dolerite and limestone (M-1133); 5 — dolomite breccia? 50–100 m from the western contact with gabbro-dolerites (M-1134); 6 — dolomite (B-9279); 7 — ankerite (N-1002-2).

Таблица 5

Содержания петрогенных оксидов (мас. %), редких элементов и фтора (г/т)
в песчаниках Западно-Акташской рудной зоны

Table 5

The content of petrogenic oxides (wt. %), Rare elements and fluorine (g/t)
in sandstones of the West Aktash ore zone

Элемент	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	85.28	78.40	76.84	82.68	67.62	76.29
TiO ₂	0.09	0.05	0.23	0.12	0.34	0.39
Al ₂ O ₃	8.84	2.35	13.80	5.53	11.74	13.15
Fe ₂ O ₃ общ	1.02	15.80	2.90	8.00	13.37	3.52
MnO	<0.01	0.20	0.01	0.13	0.42	0.01
MgO	0.80	0.80	1.19	0.40	0.59	2.59
CaO	0.10	0.06	0.11	0.08	0.05	0.08
Na ₂ O	2.36	0.10	0.30	0.20	0.20	1.07
K ₂ O	0.33	0.44	3.45	1.07	2.78	1.94
P ₂ O ₅	<0.01	0.03	0.07	0.03	0.04	0.04
S _{общ}	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01
ППП	0.28	2.30	1.76	1.79	3.50	1.51
Sc	17	7	–	–	–	–
V	16	12	42	19	40	44
Cr	24	11	<10	35	35	32
Co	5	23	6	17	22	7
Ni	11	22	14	16	19	17
Cu	68	<10	14	<10	20	43
Zn	12	21	22	12	14	46
As	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Rb	36	<10	113	21	37	90
Sr	<10	<10	<10	<10	30	34
Zr	78	13	148	120	155	198
Ba	329	163	1141	202	657	746
Pb	<10	21	10	12	<10	<10
Cl	49	103	88	122	66	67
F	96	95	506	158	471	324
сумма	99.11	100.54	100.66	100.06	100.65	100.60

Примечание: 1–5 — песчаники верхней толщи кужинской свиты; (1 — Б-9221; 2 — Н-306, гематитизированный; 3 — НШ-18; 4 — Н-1015; 5 — Б-9297); 6 — песчаник нижней толщи биктимирской свиты (Б-9224).

Note: 1–5 — sandstones of the upper stratum of the Kuzhin Formation; (1 — B-9221; 2 — N-306, hematitized sandstone; 3 — NШ-18; 4 — N-1015; 5 — B-9297); 6 — sandstone of the lower stratum of the Biktimir Formation (B-9224).

Содержания фтора в сланцах верхней под-свиты кужинской свиты варьируют от 0.053 до 0.632 мас.%. Для фтора устанавливается прямая зависимость с K_2O и TiO_2 с коэффициентами корреляции, соответственно, 0.57 и 0.37. Из редких элементов наиболее сильные связи F фиксируются с Rb (0.61) и V (0.57). По сравнению со сланцами кужинской свиты сланцы биктимирской свиты по химическому составу более однородны. Содержания F в них колеблются от 0.074 до 0.347 мас.%; F имеет положительные коэффициенты корреляции с Cl (0.77), Sc (0.52), Cu (0.43), Ba (0.40), K_2O (0.38).

По всей выборке проб ($n=29$) фтор обнаруживает только слабые связи — положительные с Ba (0.42), Cl (0.39), Cu (0.36), K_2O (0.35), Rb (0.34) и отрицательные с Co (-0.47), Fe_2O_3 (-0.42), Zn (-0.37), Ni (-0.31).

Обсуждение результатов

На площади исследования наибольшие содержания фтора, достигающие 1.22 мас.% (см. табл. 4), установлены в известняках в 2–3 м от западного контакта с габбро-долеритами. Согласно ранее проведенным исследованиям [Мичурин и др., 2020], основным F-содержащим минералом в известняках здесь является флюорит, а сами карбонатные породы представляют собой известковые скарны, которые образовались в экзоконтактовой зоне габбро-долеритов в результате биметасоматического процесса при воздействии слабо- или умеренно кислых хлоридно-фторидных постмагматических растворов. В скарнах выделяются ранняя и поздние минеральные ассоциации. Ранняя генерация представлена флюоритом, гранатом-1 и пироксеном. Гранат-1 соответствует составу гроссуляра с содержанием андрадитового минала от 17 до 23 мол.%. Пироксен приближается к составу промежуточного члена диопсид-геденбергитового ряда — салиту. В поздних генерациях присутствуют пренит, мусковит, гранат-2, скаполит, хлорит, цеолит.

По данным экспериментального моделирования типичная скарновая пироксен-гранатовая ассоциация возникает при 500–700 °C в результате взаимодействия алюмосиликатных пород с известняками в присутствии слабокислых или слабощелочных растворов исключительно хлоридного состава, что объясняется не только условиями высокой температуры, но и хлоридной спецификой магматогенных флюидов [Зарайский, 2007]. Это относится только к ранней биметасоматической стадии скарнообразования, при которой в результате

встречных диффузионных потоков Fe и Mg из магматических пород и Ca из карбонатных пород происходит связывание Fe в Ca-содержащие фазы (пироксен и гранат) и их накопление как в экзо-, так и в эндоконтактовой области. При снижении температуры до 400 °C появляется пренит.

При скарнообразовании в магматическую и раннюю постмагматическую стадии растворам присущи низкая кислотность и щелочные свойства [Метасоматизм..., 1998]. В последующих стадиях, приобретающих более открытый характер, флюиды эволюционируют в сторону повышения кислотности, и происходит инфильтрационный, односторонний перенос различных компонентов (железо, кремнезем, металлы), что часто приводит к образованию рудных концентраций [Жариков, 1968]. Экспериментальные исследования показывают, что образование по известнякам типичных для железорудных месторождений скарновых тел с пироксеном, гранатом и магнетитом возможно лишь при проявлении кислотного метасоматоза [Пуртов, 2001].

Характерными особенностями известковых скарнов Западно-Акташской рудной зоны являются практически полное отсутствие кварца в контактовой зоне с дайкой и присутствие здесь довольно значительного содержания флюорита, который тесно ассоциирует с ранним минеральным парагенезисом — гранатом-1 и диопсидом. Эти факты и опубликованные данные экспериментальных исследований позволяют предположить [Мичурин и др., 2020], что метасоматические растворы ранней стадии скарнообразования были слабо- или умереннокислыми хлоридно-фторидными. На не щелочной, а кислый характер растворов косвенно указывает и присутствие в скарнах магнетита, содержание которого может служить определенным показателем кислотных свойств растворов [Пуртов, 2001; Кольцов, 2013]. Присутствие фтора в метасоматических растворах, в свою очередь, объясняет отсутствие в скарнах на контакте с габбро-долеритами кварца, который имеет повышенную растворимость, помимо щелочных, также в кислых именно фторидных растворах [Зарайский, 2007].

В габбро-долеритах Западно-Акташской рудной зоны фиксируются в целом невысокие содержания F от 0.01 до 0.055 мас.% (см. табл. 3), при этом наблюдается некоторое обогащение фтором краевых частей даек (0.035–0.040 мас.%, $n=6$) по сравнению с центральной (0.023 мас.%, $n=3$). Фтор в габбро-долеритах, наиболее вероятно, входит в состав апатита. Энергодисперсионным микроанализом нами в апатите из этих интрузивных пород

установлено высокое содержание фтора, равное 5.94 мас. %.

Важно отметить, что в Куртмалинском месторождении в керне скважины (с-134/10) также описаны известковые скарны, представляющие собой актинолит-карбонатные гранатсодержащие породы гранофибробластовой структуры, в которых актинолит (~30%) и гранат (~5%) находятся в виде включений в карбонате [Радченко и др., 1973 г.], а в Восточно-Акташском рудопоявлении золота на контакте известняков и габбро-диоритов (кварцевых диоритов, по Л.Г. Кушировой [1994 г.]) ранее обнаружена точка минерализации флюорита [Филонов и др., 2003 г.]. Кроме того, отметим, что севернее г. Акташ в шлиховых пробах из руч. Акташский встречается флюорит в виде неправильных зерен и обломков кристаллов зеленого цвета размером до 0.2–0.5 мм. Содержание фтора в шлиховых пробах составляет около 0.06 мас. % (см. табл. 3). Из этого следует, что воздействие слабо- или умереннокислых хлоридно-фторидных постмагматических флюидов на вмещающие породы Акташского рудного поля, по-видимому, было довольно широко проявлено. На контакте химически неравновесных карбонатных и алюмосиликатных пород в результате их взаимодействия образовывались известковые скарны, а фтор в них вследствие встречной диффузии Са из карбонатных пород связывался во флюорит.

Рассмотрим поведение фтора в песчаниках и сланцах, которые в наибольшей степени развиты в Западно-Акташской рудной зоне, и которые также должны были подвергнуться воздействию хлоридно-фторидных постмагматических флюидов.

В песчаниках Западно-Акташской рудной зоны отмечаются изменчивые содержания фтора — от крайне низких (менее 0.01 мас. %) до сравнительно высоких значений (0.05 мас. %, см. табл. 3), примерно в два раза превышающих кларк F в песчаниках (270 г/т, по [Виноградов, 1962]). Из петрогенных оксидов фтор в них сильно коррелирует с K_2O (0.99), Al_2O_3 (0.82), P_2O_5 (0.79), TiO_2 (0.77), из микроэлементов — с V (0.91), Ba (0.90), Zr (0.73), Rb (0.72). Сильные связи с калием, алюминием, ванадием, рубидием, а также с фосфором указывают, что фтор в песчаниках входит в состав преимущественно мусковита и в меньшей степени — апатита.

В сланцах на исследуемой площади отмечают очень высокие содержания фтора (см. табл. 3), которые в некоторых пробах почти на порядок превышают его кларк в этих породах, равный 740 г/т, по [Виноградов, 1962]. Чтобы понять причины такого обогащения, проанализируем распреде-

ление фтора в сланцах, учитывая их пространственное расположение, а также корреляционные связи фтора с другими элементами и минералогическим составом. На рис. 4 вынесены точки отбора сланцев с учетом их расположения на определенном расстоянии с восточной и западной сторон относительно даек габбро-долеритов и показано содержание в них фтора. Как видно из рисунка, содержание F с западной стороны от даек (0.15–0.35 мас. %), по сравнению с восточной (0.10–0.14 мас. %), в сланцах всегда выше. Причем максимум концентрации фтора в сланцах с западной стороны отмечается не вблизи даек, а на некотором удалении от них, примерно на расстоянии 80–110 м. Рассматривая поведение фтора с восточной стороны, можно говорить, что в целом одинаковые содержания фтора в сланцах или не зависят от их расположения относительно габбро-долеритов, или очень слабо увеличиваются по мере удаления от них с максимумом на расстоянии около 140 м. Причиной такого распределения фтора в сланцах, на наш взгляд, являются не его унаследованные концентрации на стадии седиментогенеза, которые, безусловно, в какой-то мере также присутствуют в породах, а обогащение, произошедшее в результате дополнительного привноса фтора постмагматическими флюидами. При этом установленная зональность указывает на то, что внедрение даек габбро-долеритов и связанная с этим деятельность постмагматических флюидов происходили уже в складчатой структуре Западно-Акташской рудной зоны, в которой породы имеют восточное падение под углами от 20–30 до 60–70° (см. рис. 4). В таком случае находят свое объяснение более высокие концентрации фтора в сланцах с западной стороны от даек габбро-долеритов, поскольку движение флюидов здесь происходило по слоистости, в отличие от восточной стороны, где им приходилось продвигаться вкрест слоев.

Анализ корреляционных связей фтора с минералогическим составом сланцев ($n=13$, см. табл. 2) показывает, что он имеет слабые положительные связи с кварцем (0.50) и мусковитом-2 (0.25), со всеми остальными минералами обнаруживая отрицательные корреляции, наиболее сильная из которых проявлена с мусковитом-1 (–0.66). Иными словами, чем выше содержание новообразованного мусковита-2 по отношению к мусковиту-1 из основной массы породы, тем больше содержание в ней фтора. Это подтверждается очень сильной корреляцией между содержанием фтора в сланцах и отношением мусковита-2 к мусковиту-1, которое приводится

в табл. 2. Коэффициент корреляции в этом случае равен 0.91. С учетом этих данных и вышеприведенных материалов петрографического изучения можно сделать вывод, что фтор в сланцах в большей степени (по отношению к раннему мусковиту из основной массы породы) входит в состав поздней генерации мусковита, который встречается в виде вытянутых и таблитчатых лейст размером до 0.03–0.12 мм, разноориентированных и расположенных под углом к слоистости, приуроченных в основном к вкрапленникам кварца.

Известно [Жариков, 1968; Метасоматизм..., 1998; Пуртов, 2001], что кислотный метасоматоз вызывается растворами, богатыми летучими компонентами: Cl, F, B, S, CO₂ и др. В химическом отношении процессы кислотного метасоматоза во многом определяются реакциями гидролиза — эквивалентного обмена катионов породы на ионы водорода, приносимые флюидами [Зарайский, 2007]. Согласно петрографическому изучению в сланцах Западно-Акташской рудной зоны мусковит-2 ассоциирует с кварцем и полевыми шпатами. Содержания мусковита-2 в сланцах имеют положительную корреляцию с концентрациями кварца и отрицательную с полевыми шпатами. Такие минералогические и геохимические особенности можно объяснить образованием мусковита-2 и кварца за счет разложения микроклина при воздействии кислых хлоридно-фторидных постмагматических растворов по реакции [Зарайский, 2007]: $1.5 \times KAlSi_3O_8 + HCl = 0.5 \times KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2 + 3 \times SiO_2 + KCl$. При этом, помимо образования обогащенного фтором мусковита-2, происходило частичное растворение мусковита-1 из основной матрицы пород и вынос содержащихся в нем элементов, в частности железа.

На рис. 5 установлены содержания фтора в сланцах, отобранных на определенном расстоянии от различных дайковых тел габбро-долеритов, сведены в одну идеализированную схему, из которой видно зеркально противоположное поведение фтора и железа в породах. Сланцы, в которых установлено максимальное содержание фтора, характеризуются пониженными концентрациями железа. Например, в образце Б-9226, не вынесенном на схему из-за отсутствия данных о его точном расположении относительно габбро-долеритов, при максимальном содержании F в изученных образцах, равном 0.63 мас. %, концентрация Fe₂O₃ составляет 1.77 мас. % и является минимальной из всей выборки проб. В целом в сланцах Западно-Акташской рудной зоны с высоким содержанием фтора концентра-

ции железа уменьшаются примерно на 2–3 мас. % относительно его среднего содержания в этих породах. Таким образом, метасоматические флюиды, наиболее вероятно, обогащались железом, которое затем фиксировалось в магнезиально-железистых карбонатах при метасоматическом преобразовании известняков. Известняки, присутствовавшие

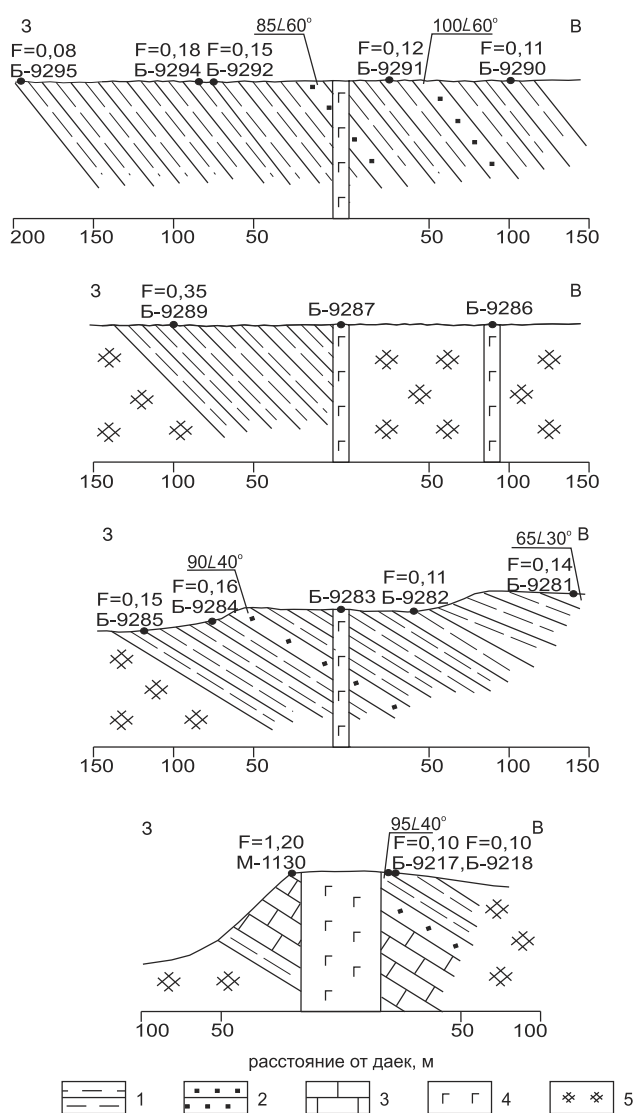


Рис. 4. Геологические разрезы и положение точек опробования сланцев и карбонатных пород, вмещающих дайку габбро-долеритов в Западно-Акташской рудной зоне

Условные обозначения: 1 — сланцы; 2 — песчаники; 3 — известняки; 4 — габбро-долериты; 5 — задернованные участки

Fig. 4. Geological sections and the position of the sampling points for shale and carbonate rocks containing gabbro-dolerite dykes in the West Aktash ore zone

Legend: 1 — shales; 2 — sandstones; 3 — limestones; 4 — gabbro-dolerites; 5 — unexposed areas

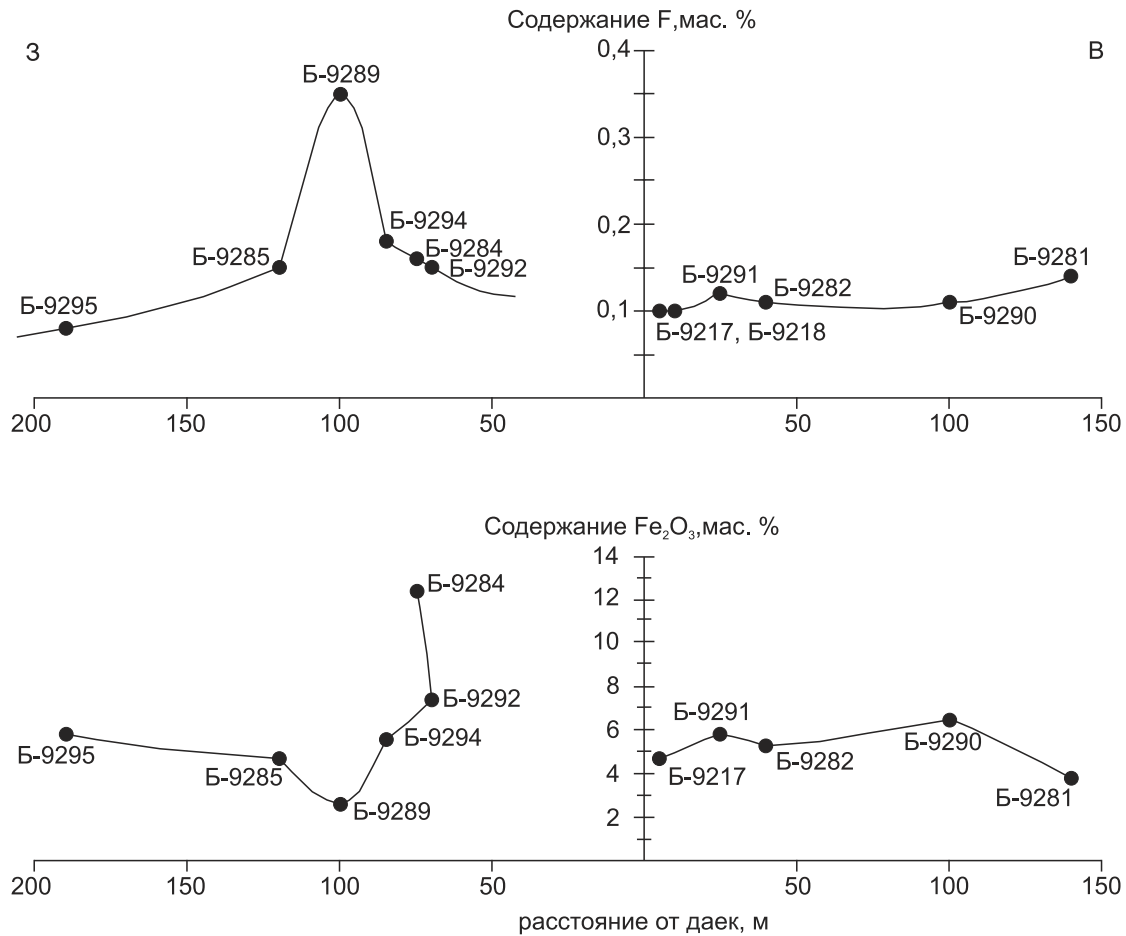


Рис. 5. Идеализированная схема изменения содержаний фтора и железа в сланцах относительно даек габбро-долеритов в Западно-Акташской рудной зоне

Fig. 5. An idealized scheme for changing the content of fluorine and iron in shales relative to their location from dikes of gabbro-dolerites in the West Aktash ore zone

в разрезе, по-видимому, служили геохимическим барьером для кислых постмагматических флюидов. По данным В.В. Радченко с соавторами [1973 г.], в урочище Куртмаля на правом берегу руч. Акташский в зоне Куртмалинского месторождения бурых железняков скважинами 130 и 134 на глубине 85.8 и 130 м встречаются прослойки сидеритов и железистых доломитов суммарной мощностью около 45 м, которые по восстанию переходят в бурые железняки. Среднее содержание FeO в сидеритах составляет 41 мас. %.

Выводы

Таким образом, проведенное изучение позволяет сделать следующие выводы.

1. На площади исследования наибольшие содержания фтора, достигающие 1.22 мас. %, установ-

лены в известняках, представляющих собой известковые скарны, которые образовались в экзоконтактной зоне габбро-долеритов в результате биметасоматического процесса при воздействии слабо- или умереннокислых хлоридно-фторидных постмагматических растворов. Фтор в известковых скарнах входит в состав флюорита.

2. В песчаниках Западно-Акташской рудной зоны отмечаются изменчивые содержания фтора — от крайне низких (менее 0.01 мас. %) до сравнительно высоких значений (0.05 мас. %), примерно в два раза превышающих кларк. Высокая связь с калием, алюминием, ванадием, рубидием, а также с фосфором указывает, что фтор в песчаниках входит в состав преимущественно мусковита и в меньшей степени апатита.

3. В сланцах на исследуемой площади отмечаются очень высокие содержания фтора (0.1–

0.63 мас. %), в отдельных пробах в несколько раз превышающие его кларк. Установлено зональное распределение фтора в сланцах, которое контролируется их положением в разрезе относительно даек габбро-долеритов. Наибольшие содержания фтора отмечаются во вмещающих породах с западной стороны даек. Обогащение сланцев произошло в результате дополнительного привноса фтора постмагматическими флюидами, циркуляция которых происходила уже в складчатой структуре Западно-Акташской рудной зоны. Фтор в сланцах фиксируется в поздней генерации мусковита, который образовывался совместно с кварцем в результате разложения микроклина при воздействии кислых хлоридно-фторидных постмагматических растворов. В сланцах отмечается обратная связь между содержаниями фтора и железа, что свидетельствует о разнонаправленном геохимическом поведении этих элементов и выносе железа из пород.

4. Полученные данные ставят под сомнение связь высоких содержаний фтора в рифейских породах Южного Урала с эвапоритовыми обстановками осадконакопления.

Благодарности. Авторы искренне признательны С.А. Даниленко, В.М. Горожанину и М.Т. Крупнину за критические замечания.

Исследования выполнены в рамках темы № 0252-2016-0005 государственного задания ИГ УФИЦ РАН.

Список литературы:

- Алексеев А.А.* Рифейско-вендский магматизм западного склона Южного Урала. – М.: Наука, 1984. – 136 с.
- Анфимов Л.В., Ковальчук А.И.* Галогены и бор в карбонатных породах нижнего рифея на Южном Урале // Ежегодник–1979 / Ин-т геологии и геохимии УНЦ АН СССР. – Свердловск, 1980. – С. 95–97.
- Анфимов Л.В., Крупнин 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.
- Виноградов А.П.* Среднее содержание химических элементов в горных породах // Геохимия. – 1962. – № 7. – С. 555–571.
- Жариков В.А.* Скарновые месторождения // Генезис эндогенных рудных месторождений / Под ред. В.И. Смирнова. – М.: Недра, 1968. – С. 220–302.
- Зарайский Г.П.* Эксперимент в решении проблем метасоматизма. – М.: ГЕОС, 2007. – 136 с.
- Карамова А.М., Казбулатова Г.М., Мичурин С.В., Захарова А.Г.* Фотометрический метод определения фтора в горных породах посредством образования ализаринком-плексоната фторида лантана // Башкирский химический журнал. – 2019. – Т. 26, № 1. – С. 42–47.
- Кольцов А.Б.* Некоторые закономерности метасоматоза в термобароградиентных условиях // Вестник СПбГУ. Сер. 7. – 2013. – Вып. 3. – С. 36–49.
- Крупнин М.Т., Прохаска В., Ронкин Ю.Л.* Природа фтора и рудообразующих растворов флюоритового месторождения Суран (Башкирский мегантиклинорий) по данным изучения лантановидов, флюидных включений и Sr-Nd систематики // Литосфера. – 2012. – № 5. – С. 126–144.
- Ларионов Н.Н., Цветкова А.А.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. М 1:200 000. Южно-Уральская серия. N-40-XXII (Тукан). – СПб.: МПР РФ, 2003.
- Ларионов Н.Н., Бергазов И.Р., Грановская Н.В., Нигматуллина А.М.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. М 1:200 000. Изд. второе. Серия Южно-Уральская. Лист N-40-XXII – Тукан: Объяснительная записка. – М.: ВСЕГЕИ, 2015. – 247 с.
- Метасоматизм и метасоматические породы / Под ред. В.А. Жарикова, В.Л. Русинова.* – М.: Научный мир, 1998. – 492 с.
- Мичурин С.В., Калистратова Е.О., Султанова А.Г., Крупнин М.Т., Даниленко С.А., Савельев Д.Е., Казбулатова Г.М.* Известковые скарны в среднерифейских отложениях Акташской площади (Южный Урал) // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий: Сборник статей 13-ой Межрегион. науч.-практ. конф., Уфа, 20–22 мая 2020 г. – Уфа: Мир печати, 2020. – С. 94–106.
- 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. – 2018. – № 24. – 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.
- 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.
- Пуртов В.К.* Высокотемпературный метасоматоз и гранитизация пород базальтового состава в хлоридных растворах. – Екатеринбург: УрО РАН, 2001. – 140 с.
- Рыкус М.В., Сначёв В.И.* Геология и золотоносность Акташского рудного поля // Нефтегазовое дело. – 2014. – Т. 12, № 2. – С. 21–27.
- Сначёв А.В., Сначёв В.И.* Коренное и россыпное золото Акташского рудного поля // Геология. Известия отделения наук о Земле и природных ресурсов АН РБ. – 2019. – № 26. – С. 48–55.
- 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 Всерос. молодеж. геол. конф. с международным участием, 23–27 сент. 2019 г., г. Уфа. – Уфа, 2019. – С. 113–118.

Филитов В.А. Формационные комплексы Башкирского мегантиклинория и их металлогения // Докл. АН СССР. – 1983. – Т. 271, № 4. – С. 935–938.

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

Шарипова А.А., Мичурин С.В., Крупенин М.Т., Гараева А.А., Канипова З.А. Жильный кварц из рудопроявлений золота в рифейских отложениях Авзянского рудного района (Южный Урал): минералогические и термодинамические особенности // Вестник Пермского университета. – 2017. – Т. 16, № 3. – С. 216–231.

Шефер В.А., Ларионов Н.Н. Отложения нижнего и среднего рифея в Юрматанском антиклинории на западном склоне Башкирского Урала // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Европейской территории России и Урала: Мат. регион. конф. – Екатеринбург, 2000. – Кн. 2. – С. 196–198.

Широбокова Т.И. Фтор и хлор в породах Кузинского 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.

References:

Abramov S.S., Andreeva O.V., Zharikov V.A., Zaraysky G.P., Marakushev A.A., Omelyanenko B.I., Pertsev N.N., Podlesky K.V., Russ I.T., Rusinov V.L. Metasomatizm i metasomaticheskie porodny [Metasomatism and metasomatic breeds] / Edited by V.A. Zharikov, V.L. Rusinov. M.: Nauchnyj mir, 1998. 492 p. (In Russian).

Alekseev A.A. Rifejsko-vendskij magmatizm zapadnogo sklona Juzhnogo Urala [Riphean-Vendian magmatism of the western slope of the Southern Urals]. M.: Nauka, 1984. 136 p. (In Russian).

Anfimov L.V., Kovalchuk A.I. Galogeny i bor v karbonatnyh porodah nizhnego rifeja na Juzhnom Urale [Halogens and boron in the carbonate rocks of the Lower Riphean in the Southern Urals] // Yearbook 1979 / Institute of Geology and Geochemistry, Uralian Scientific Center of the Academy of Sciences of the USSR. Sverdlovsk, 1980. P. 95–97. (In Russian).

Anfimov L.V., Krupenin M.T., Petrishcheva V.G. Mikroelementy i ih korreljacionnoe znachenie v karbonatnyh porodah rifeja Bashkirskogo megantiklinorija [Microelements and their correlation value in the carbonate rocks of the Riphean of the Bashkir meganticlinorium] / Geochemistry of volcanic and sedimentary rocks of the Southern Urals. Sverdlovsk: Uralian Scientific Center of the Academy of Sciences of the USSR, 1987. P. 47–56. (In Russian).

Filippov V.A. Formacionnye komplekсы Bashkirskogo megantiklinorija i ih metallogenija [Formation complexes of the Bashkir meganticlinorium and their metallogeny] / Reports

of the USSR Academy of Sciences. 1983. V. 271, No. 4. P. 935–938. (In Russian).

Halizova V.A., Polupanova L.I., Bebeshko G.I., Alekseeva A.Ya., Gelman E.M. Instrukcija NSAM 139-H. Himicheskie metody. Fotometricheskij metod opredelenija flora v gornyh porodah, mineralah i rastvorah po reakcii obrazovanija alizarinkompleksonata ftorida cerija [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]. M.: All-Russian Research Institute of Mineral Raw Materials, 1976. 25 p. (In Russian).

Karamova A.M., Kazbulatova G.M., Michurin S.V., Zakharova A.G. Fotometricheskii metod opredelenija flora v gornyh porodah posredstvom obrazovanija alizarinkompleksonata ftorida lantana [Photometric method for the determination of fluorine in rocks through the formation of lizane fluoride alizarin complexonate] // Bashkir chemical journal. 2019. V. 26, No. 1. P. 42–47. (In Russian).

Kol'tsov A.B. Nekotorye zakonomernosti metasomatoza v termobarogradientnyh uslovijah [Some patterns of metasomatism in thermobarogradient conditions] // Bulletin of St. Petersburg State University. 2013. No. 7. Is. 3. P. 36–49. (In Russian).

Krupenin M.T., Prokhaska V., Ronkin Yu.L. Priroda flora i rudoobrazujushchih rastvorov fljuoritovogo mestorozhdenija Suran (Bashkirskii megantiklinorii) po dannym izuchenija lantanoidov, fljuidnyh vkljuchenii i Sr-Nd sistematiki [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] // Lithosphere. 2012. No. 5. P. 126–144. (In Russian).

Larionov N.N., Tsvetkova A.A. Gosudarstvennaja geologicheskaja karta Rossijskoi Federacii. M 1:200 000. Juzhno-Ural'skaja ser. N-40-XXII (Tukan) [State geological map of the Russian Federation. M 1:200 000. South Ural ser. N-40-XXII (Toucan)]. Spb.: Ministry of Natural Resources of the Russian Federation, 2003. (In Russian).

Larionov N.N., Bergazov I.R., Granovskaya N.V., Nigmatullina A.M. Gosudarstvennaja geologicheskaja karta Rossijskoi federacii. M 1:200 000. 2-e izd. Serija Juzhno-Ural'skaja. List N-40-XXII – Tukan [State geological map of the Russian Federation. Scale 1:200 000. Second edition. Series South Ural. Sheet N-40-XXII – Tukan]: Explanatory letter. M.: VSEGEI, 2015. 247 p. (In Russian).

Michurin S.V., Kalistratova E.O., Sultanova A.G., Krupenin M.T., Danilenko S.A., Savelyev D.E., Kazbulatova G.M. Izvestkovye skarny v sredenerifejskih otlozhenijah Aktashskoi ploskhadi (Juzhnyi Ural) [Limestone skarns in the Middle Riphean deposits of Aktash Square (South Ural)] // Geology, Minerals, and Geoecology Problems of Bashkortostan, the Urals, and Neighboring Territories: Collection of Articles of the 13th Interregional Scientific and Practical Conference. Ufa, May 20–22, 2020. Ufa: Mir pechati, 2020. P. 94–106. (In Russian).

Michurin S.V., Karamova A.M., Biktimerova Z.R., Kazbulatova G.M. Hlor v karbonatnyh porodah nizhnego i verhnego rifeja Bashkirskogo megantiklinorija [Chlorine in the carbonate rocks of the lower and upper Riphean of the Bashkir meganticlinorium] // Geology. Bull. of the Earth Sci. and Natural Resources Department of the Academy of Sci. of the Republic of Bashkortostan. 2018. No. 18. P. 76–90. (In Russian).

Michurin S.V., Karamova A.M., Kazbulatova G.M., Sultanova A.G., Savel'ev D.E., Gorozhanin V.M. Ftor v karbonatnykh porodakh bol'sheinzerskoi i suranskoi svit nizhnego rifeja na Yuzhnom Urале [Fluorine in Carbonate Rocks of the Bolsheinzerskaya and Suran Formations of the Lower Riphean in the Southern Urals] // *Geology. Bulletin of the Earth Sci. and Natural Resources Department of the Academy of Sci. of the Republic of Bashkortostan*. 2019. No. 26. P. 76–87. (In Russian).

Parnachev V.P. Ftor i hlor v pozdnedokembrijskikh osadochnykh porodakh Bashkirskogo megantiklinorija v svyazi s voprosami ih sedimentogeneza [Fluorine and chlorine in the Late Precambrian sedimentary rocks of the Bashkir meganticlinorium in connection with issues of their sedimentogenesis] // *Geochemistry of volcanic and sedimentary rocks of the Southern Urals*. Sverdlovsk: Uralian Scientific Center of the Academy of Sciences of the USSR, 1987. P. 35–47. (In Russian).

Purtov V.K. Vysokotemperaturnyi metasomatoz i granitizaciya porod bazal'tovogo sostava v hlорidnykh rastvorah [High-temperature metasomatism and granitization of basalt rocks in chloride solutions]. Yekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2001. 140 p.

Rykus M.V., Snachev V.I. Geologija i zolotonosnost' Aktashskogo rudnogo polja [Geology and gold content of the Aktash ore field] // *Oil and Gas Business*, 2014. V. 12, No. 2. P. 21–27. (In Russian).

Sharipova A.A., Michurin S.V., Krupenin M.T., Garaeva A.A., Kanipova Z.A. Zhil'nyi kvarts iz rudoprojavenii zolota v rifeskikh otlozhenijah Avzjanskogo rudnogo rajona (Juzhnyi Ural): mineralogicheskie i termokriometricheskie osobennosti [Vein quartz from the occurrence of gold in Riphean deposits of the Avzyansky ore district (Southern Urals): mineralogical and thermocryometric features] // *Bulletin of Perm University*, 2017. V. 16, No. 3. P. 216–231. (In Russian).

Shefer V.A., Larionov N.N. Otlozhenija nizhnego i srednego rifeja v Jurmatauskom antiklinorii na zapadnom sklone Bashkirskogo Urала [Deposits of the Lower and Middle Riphean in the Yurmtau Anticlinorium on the Western Slope of the Bashkir

Urals] // *Geology and mineral resources of the European territory of Russia and the Urals: Materials of the regional conference*. Yekaterinburg, 2000. Book 2. P. 196–198. (In Russian).

Shirobokova T.I. Ftor i hlor v porodah Kuzhinskogo mestorozhdenija [Fluorine and chlorine in the rocks of the Kuzhinsky deposit] // *Yearbook–1988 / Institute of Geology and Geochemistry of Ural Branch of the Academy of Sciences of the USSR*. Sverdlovsk, 1989. P. 103–104. (In Russian).

Shirobokova T.I. Stratiformnoe polimetallicheskoe i baritovoe orudnenie Urала [Stratiform polymetallic and barite mineralization of the Urals]. Sverdlovsk: Ural Branch of the Academy of Sciences of the USSR, 1992. 137 p. (In Russian).

Snachev A.V., Snachev V.I. Korennoe i rossypnoe zoloto Aktashskogo rudnogo polja [Indigenous and placer gold of the Aktash ore field] // *Geology. Proceedings of the Department of Earth Sci. and Natural Res., Academy of Sci. of the Republic of Bashkortostan*. 2019. No. 26. P. 48–55. (In Russian).

Sultanova A.G., Michurin S.V., Karamova A.M., Kazbulatova G.M., Savelyev D.E., Gorozhanin V.M. Ftorsoderzhashhie mineraly v nizhnerifejskikh otlozhenijah Jamantauskogo antiklinorija (Juzhnyi Ural) [Fluorine-containing minerals in the Lower Riphean deposits of the Yamantau anticlinorium (South Urals)] // *Geology, Geoecology and Resource Potential of the Urals and Neighboring Territories: 7-th All-Russian Youth Geological Conference with international participation, Ufa, September 23–27, 2019*. Ufa, 2019. P. 113–118. (In Russian).

Vinogradov A.P. Srednee sodержanie himicheskikh elementov v gornyx porodah [The average con-tent of chemical elements in the rocks] // *Geochemistry*. 1962. No. 7. P. 555–571. (In Russian).

Zharikov V.A. Skarnovye mestorozhdenija [Skarn deposits] // *Genesis of endogenous ore deposits / V.I. Smirnov (ed.)*. M.: Nedra, 1968. P. 220–302. (In Russian).

Zaraysky G.P. Jeksperiment v reshenii problem metasomatizma [An experiment in solving the problems of metasomatism]. M.: GEOS, 2007. 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
Калистратова Евгения Олеговна, ООО РН-БашНИПИнефть, г. Уфа. E-mail: pindyurinaevgeniya@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

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
Kalistratova Evgenia Olegovna, LLC RN-BashNIPIneft, Ufa. E-mail: pindyurinaevgeniya@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