
Научная статья

УДК 550.42

DOI: 10.31084/2619-0087/2023-3-2

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ БИРЬЯНСКОЙ ПОДСВИТЫ ЗИЛЬМЕРДАКСКОЙ СВИТЫ ВЕРХНЕГО РИФЕЯ В СВЯЗИ С ВОПРОСАМИ РУДОГЕНЕЗА (ХР. ЗИЛЬМЕРДАК, ЮЖНЫЙ УРАЛ)

С. В. Мичурин, Г. М. Казбулатова, А. А. Самигуллин, А. А. Шарипова

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

В разрезе бирьянской подсвиты в Инзерском синклинии на западном склоне хребта Зильмердак установлены типичные для песчаников этого стратиграфического уровня содержания Cr, Ni, Cu, Zn, Pb и повышенные концентрации As, которые в среднем в 2–13 раз превышают кларк. Обнаружено, что главными минералами-концентраторами As являются арсенопирит и гетит. Гетит преимущественно замещает выщелоченный арсенопирит и/или мышьяковистый пирит, а также развивается по границам зерен кварца, встречается в виде оторочек вокруг кварцевых галек и наблюдается по трещинам спайности калиевого полевого шпата. Установлено зональное распределение As с наибольшими концентрациями до 207 г/т в одном из слоев разреза. Это объясняется литологическим контролем и приуроченностью As к компетентным породам (гравелиты с прослоями аркозовых кварцитовидных песчаников), которые подстилаются менее компетентными (алевролитами). Предполагается, что алевролиты выступали в роли флюидоупора при послонном движении метасоматических флюидов. Показано, что породы разреза обладают литологическими, геохимическими и минералогическими поисковыми признаками на золотое оруденение. Перспективным предполагается участок в восточном продолжении разреза, в котором отложения бирьянской подсвиты прорывают многочисленные дайки инзерского габбро-леритового комплекса. Обогащение пород изученного разреза As, возможно, было обусловлено циркуляцией постмагматических флюидов, связанных с дайками этого комплекса.

Ключевые слова: Башкирский мегантиклинорий, зильмердакская свита, бирьянская подсвита, мышьяк, гетит, гравелиты, песчаники

Благодарности: Авторы искренне признательны С. А. Даниленко за обсуждение материалов статьи и критические замечания. Исследование выполнено в рамках Государственного задания ИГ УФИЦ РАН № FMRS-2022–0015.

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

For citation: S. V. Michurin, G. M. Kazbulatova, A. A. Samigullin, A. A. Sharipova (2023) Geochemical features of the Biryán subformation of the Upper Riphean Zilmerdak formation in connection with the issues of ore genesis (Zilmerdak ridge, Southern Ural). *Geologicheskii vestnik*. 2023. No. 3. P. 13–25. DOI: 10.31084/2619-0087/2023-3-2

© С. В. Мичурин, Г. М. Казбулатова, А. А. Самигуллин, А. А. Шарипова, 2023

Original article

GEOCHEMICAL FEATURES OF THE BIRYAN SUBFORMATION OF THE UPPER RIPHEAN ZILMERDAK FORMATION IN CONNECTION WITH THE ISSUES OF ORE GENESIS (ZILMERDAK RIDGE, SOUTHERN URAL)

S. V. Michurin, G. M. Kazbulatova, A. A. Samigullin, A. A. Sharipova

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

In the section of the Biryán subformation in the Inzer synclinorium on the western slope of the Zilmerdak ridge, Cr, Ni, Si, Zn, Pb and elevated concentrations of As, typical for sandstones of this stratigraphic interval, were found, which are on average 2–13 times higher than clark. It was found that the main minerals concentrators of As are arsenopyrite and goethite. Goethite mainly replaces leached arsenopyrite and/or arsenical pyrite, and also develops along the boundaries of quartz grains, occurs in the form of fringes around quartz pebbles and is observed along the cleavage cracks of potassium feldspar. The zonal distribution of As with the highest concentrations up to 207 g/t in one of the layers of the section was established. This is explained by the lithological control and the fact that As is confined to competent rocks (gravelites with interlayers of arkose quartzite-like sandstones), which are underlain by less competent ones (siltstones). It is assumed that siltstones acted as a fluid barrier during the layered movement of metasomatic fluids. It is shown that the rocks of the section have lithological, geochemical and mineralogical search signs for gold mineralization. The area in the eastern continuation of the section, in which deposits of the Biryán subformation are intruded by numerous dikes of the Inzer gabbrodolerite complex, is assumed to be promising. The enrichment of the rocks of the studied section in As may have been due to the circulation of postmagmatic fluids associated with the dikes of this complex.

Keywords: Bashkir meganticlinorium, Zilmerdak formation, Biryán subformation, arsenic, goethite, gravelites, sandstones

Acknowledgements: The authors are sincerely grateful to S. A. Danilenko for discussing the materials of the article and critical comments. The research was carried out on the subject № FMRS-2022–0015 of the state task to the Institute of Geology UFRС RAS.

Введение

Отложения зильмердакской свиты на Южном Урале являются базальными для каратауской серии верхнего рифея, которая с размывом и угловым несогласием залегает на среднерифейской юрматинской серии. Мощность свиты в стратотипических разрезах составляет 1400–3000 м, из которых на долю нижней бирьянской подсвиты приходится 800–2000 м [Стратотип рифея ..., 1983]. Бирьянская подсвита представлена преимущественно полевошпат-кварцевыми, аркозовыми и кварцевыми песчаниками, местами переходящими в гравелиты и мелкогалечниковые конгломераты [Козлов, 1982]. Песчаники содержат прослои алевролитов, аргиллитов и доломитов. В породах данного литостратиграфического подразделения преобладает пестро- и красноцветная окраска, а в пачках переслаивания алевролитов и аргиллитов присутствуют псевдоморфозы по галиту и многочис-

ленные трещины усыхания [Маслов и др., 2003]. Считается, что осадконакопление в бирьянское время происходило в аллювиальных, аллювиально-дельтовых и прибрежно-морских обстановках в условиях аридного или семиаридного климата [Маслов и др., 2001].

С аркозовыми песчаниками бирьянской подсвиты связано Бирьянское месторождение полевого шпата, среднее содержание которого в породах составляет 33–34% ($K_2O+Na_2O=4.50$ мас. %) [Яковлев, Иванов, 1959]. Месторождение расположено на правом берегу р. Б. Инзер (рис. 1) и приурочено к горизонту мощностью ~35 м. Из металлических полезных ископаемых в бирьянской подсвите наиболее известными являются рудопроявления титана (Инзерское, Селигурга, Реват, Реветь, Средне-Тюльменское и др.), тяготеющие к нижней части подсвиты (см. рис. 1). Рудопроявления относят к формации древних россыпей [Яковлев, Иванов, 1959]. Содержание

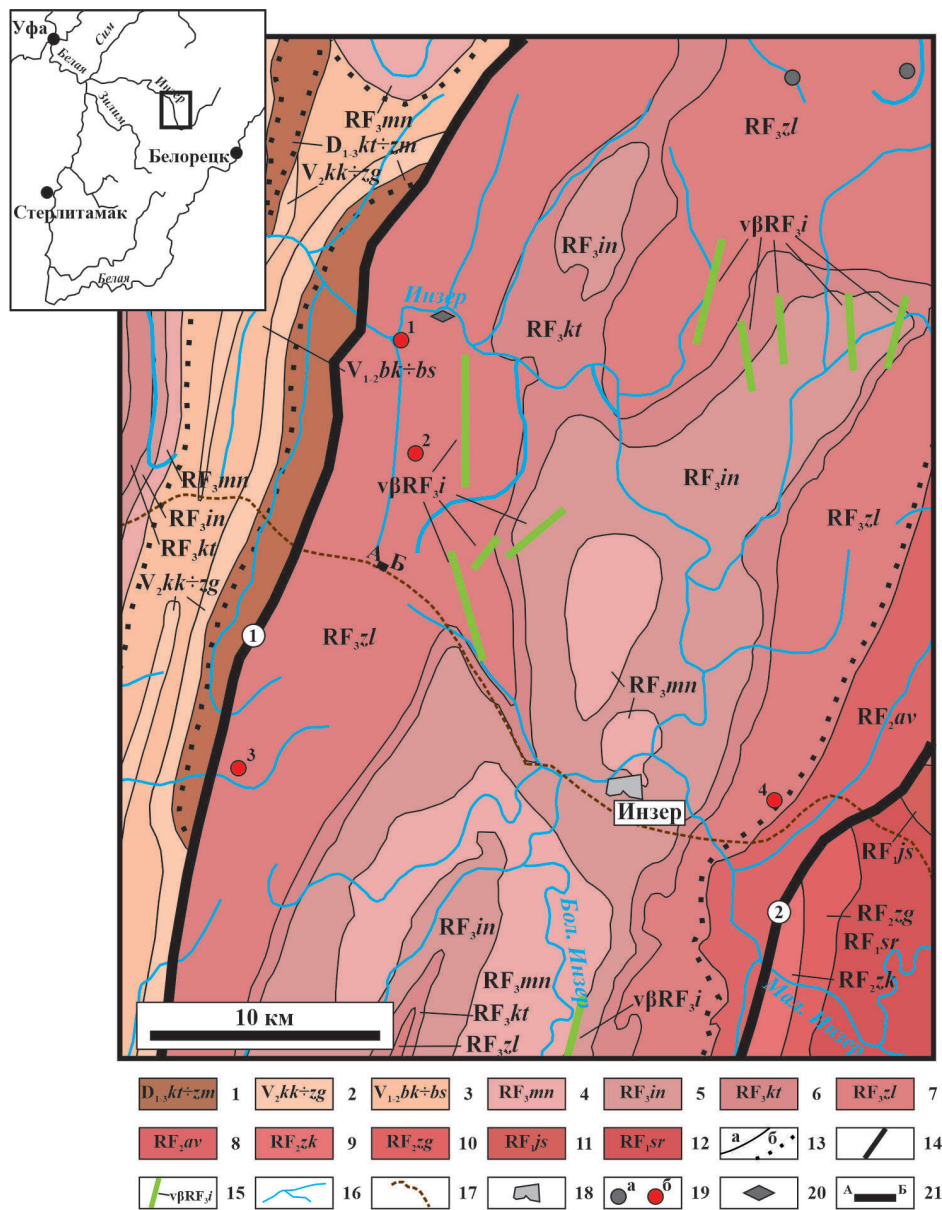


Рис. 1. Фрагмент геологической карты Инзерского синклиория (по [Князев, 2010]) и положение изученного разреза бирьянской подсвиты

Условные обозначения: 1 — отложения девона; 2–3 — отложения венда, свиты: 2 — куккараукская и зиганская объединенные, 3 — бакеевская и басинская объединенные; 4–7 — отложения верхнего рифея, свиты: 4 — миньярская, 5 — инзерская, 6 — катавская, 7 — зильмердакская; 8–10 — отложения среднего рифея, свиты: 8 — авзянская, 9 — зигазино-комаровская, 10 — зигалгинская; 11–12 — отложения нижнего рифея, свиты: 11 — юшинская, 12 — суранская; 13 — стратиграфические границы: а — согласные, б — несогласные; 14 — тектонические разломы: 1 — Зильмердакский, 2 — Караташский; 15 — дайки инзерского габбродолеритового комплекса; 16 — реки и ручьи; 17 — автотрасса Уфа — Белорецк; 18 — село Инзер; 19 — рудопроявления: а — бурых железняков, б — титана; 1 — Инзерское, 2 — Селигурга, 3 — Реват, 4 — Реветь; 20 — Бирьянское месторождение полевого шпата; 21 — положение разреза А — Б.

Fig. 1. A fragment of the geological map of the Inzer synclinorium (according to [Knyazev, 2010]) and the position of the studied section of the Biryán subformation

Legend: 1 — Devonian sediments; 2–3 — Vendian sediments, formations: 2 — Kukkarauk and Zigan combined, 3 — Bakeyev and Basa combined; 4–7 — Upper Riphean sediments, formations: 4 — Minyar, 5 — Inzer, 6 — Katav, 7 — Zilmerdak; 8–10 — Middle Riphean sediments, formations: 8 — Avzyan, 9 — Zigazino-Komarovo, 10 — Zigalga; 11–12 — Lower Riphean sediments, formations: 11 — Yusha, 12 — Suran; 13 — stratigraphic boundaries: a — concordant, b — discordant; 14 — tectonic faults: 1 — Zilmerdak, 2 — Karatash; 15 — dykes of the Inzer gabbrodolerite complex; 16 — rivers and streams; 17 — Ufa — Beloretsk highway; 18 — Inzer village; 19 — occurrences: a — brown ironstone, b — titanium: 1 — Inzer, 2 — Seligurga, 3 — Revat, 4 — Revet; 20 — Biryán feldspar deposit; 21 — the position of the section A — B.

TiO₂ в них составляет 2.5–15.8 мас. %, мощность рудных прослоев достигает 1.15 м при протяженности до 150 м. В отложениях бирьянской подсвиты встречаются также мелкие проявления бурых железняков (Сали, Ишкушты и др.) [Яковлев, Иванов, 1959], проявления урановой [Ковалев и др., 2013] и редкоземельной минерализации с повышенными содержаниями Pb (до 1 мас. %) и Ba (до 3 мас. %) (материалы П. Н. Швецова, Западно-Башкирская комплексная геологическая экспедиция).

Кроме того, в зильмердакской свите в согласно перекрывающих бирьянские песчаники отложениях нугушской подсвиты залегают рудопроявления меди (Катавское, Лемезинское, Зириклинское), которые относят к осадочно-диагенетическим образованиям [Филиппов, Акбашев, 1975; Филиппов, 2009]. Содержания Cu в породах составляют 0.05–0.6 мас. %. В качестве источника меди рассматриваются вмещающие породы зильмердакской свиты. По аналогии с широко распространенными в мире стратиформными медными месторождениями [Kirkham, 1989; Cox et al., 2007; Hitzman et al., 2010] в верхнерифейских отложениях Башкирского мегантиклинория прогнозируется крупномасштабное оруденение типа медистых песчаников [Филиппов и др., 2015; Филиппов, 2020].

Наконец, в коре выветривания, развивающейся по полевошпат-кварцевым песчаникам и алевролитам бирьянской и нугушской подсвит в районе хр. Балятур, при геологическом доизучении в масштабе 1:50000 выявлена комплексная аномалия с содержаниями Au до 1 г/т и Ba до 0.2 мас. % (материалы В. А. Шефера). Предполагается, что источником тонкодисперсного золота могли выступать вмещающие породы бирьянской и нугушской подсвит. Его высвобождение и накопление связывают с формированием коры выветривания по зонам интенсивного тектонического дробления пород вблизи крупного Караташского разлома.

Вышеперечисленное показывает, что отложения зильмердакской свиты являются перспективными на многие виды полезных ископаемых. Это диктует необходимость более детального геохимического изучения зильмердакских отложений, в частности, пород бирьянской подсвиты. Вместе с тем на сегодняшний день сведения по микроэлементному составу и геохимическим особенностям песчаников зильмердакской свиты ограничиваются данными, приводимыми в работах Э. З. Гареева [1989] и Л. В. Анфимова [1997]. Они основаны на устаревшем полуколичественном спектральном анализе. К тому же, в этих

работах отсутствуют данные о количественных концентрациях As, который может служить индикаторным элементом золотого и некоторых других типов оруденения. Между тем нами в 2022 году по результатам исследований отложений бирьянской подсвиты в Инзерском синклинии на западном склоне хребта Зильмердак выявлена геохимическая аномалия As. В настоящем сообщении приводятся данные геохимического и минералогического изучения пород этого обнажения. Предпринимается попытка определить природу выявленной аномалии и оценить перспективы пород разреза в отношении золотого оруденения.

Стратиграфия и литология зильмердакской свиты

Каратауская серия включает зильмердакскую, катавскую, инзерскую, миньярскую и укскую свиты [Козлов, 1982; Маслов, 1988]. Зильмердакская свита объединяет (снизу) бирьянскую, нугушскую, лемезинскую и бедерьшинскую подсвиты.

Бирьянская подсвита расчленена на 4 толщи [Козлов, 1982; Маслов, 1988]. Первая толща (мощность 100–500 м) представлена розовато- и желтовато-серыми полевошпат-кварцевыми, аркозовыми и субаркозовыми крупно- и среднезернистыми песчаниками с прослоями гравелитов и мелкогалечных конгломератов, а также красно-бурыми и кирпично-красными мелкозернистыми песчаниками, алевролитами и аргиллитами. Вторая толща (мощность 200–250 м) сложена алевролитами, розоватыми и вишнево-красными мелкозернистыми песчаниками с подчиненными прослоями аргиллитов. Нижняя и верхняя части толщи преимущественно алевролитовые. Третья толща (мощность 100–600 м) по литологическому составу сходна с первой толщей. Четвертая толща (мощность 110–300 м) представлена преимущественно красноцветными алевролитами и песчаниками полевошпат-кварцевого и кварцевого состава. Верхняя часть толщи сложена сероцветными породами: доломитами, кварцевыми и полевошпат-кварцевыми песчаниками и глинисто-карбонатно-кварцевыми алевролитами.

Общая мощность отложений бирьянской подсвиты в Башкирском мегантиклинории изменчива. На хребтах Алатау и Багруш она составляет ~500 м, на р. Тюльмень — 1400 м, на хребтах Зильмердак и Бирьян — 1800–2000 м [Козлов, 1982].

Нугушская подсвита (мощность 200–350 м) сложена кварцевыми и полевошпат-кварцевыми песчаниками, алевролитами, аргиллитами,

глинистыми доломитами. Лемезинская подсвита (мощность 150–250 м) представлена светло-серыми кварцевыми песчаниками с подчиненными прослоями алевролитов и аргиллитов. Бедерышинская подсвита (мощность 250–400 м) сложена кварцевыми и полимиктовыми песчаниками, алевролитами, аргиллитами, глинистыми доломитами.

Геологическое положение и характеристика разреза

Разрез расположен в Инзерском синклинии в северном окончании западного склона хребта Зильмердак вдоль автотрассы Уфа-Белорецк в 100–150 м южнее моста через руч. Нижние Сакашли. В этом месте вскрываются породы бирьянской подсвиты предположительно первой нижней толщи. В изученном разрезе по направлению на юго-восток стратиграфически снизу вверх вскрываются следующие слои (рис. 2).

1. Желтовато-серые, мелко- и среднезернистые среднеплитчатые аркозовые и субаркозовые кварцитовидные песчаники. На желтовато-серой поверхности песчаников изредка отмечаются пятна ожелезнения. Мощность ~5.5 м.

2. Желтовато- и розовато-серые, вишнево-красные кварцевые и полевошпат-кварцевые

алевролиты (прослоями с примесью псаммитового материала) и мелкозернистые песчаники. Мощность ~4 м.

3. Светлые розовато-серые гравелиты с прослоями мелко-, средне- и грубозернистых аркозовых кварцитовидных песчаников. В составе окатанной и полуокатанной гальки гравелитов преобладают кварц молочно-белого цвета и калиевые полевые шпаты (КПШ). Размер галек КПШ обычно составляет 1–10 мм, изредка до 2 см, жильного кварца — 0.5–2 см, реже — 2–3 см. Калиевые полевые шпаты в породах встречаются как сравнительно свежие, розового цвета, так и выветрелые, или салатного или рыжего цвета, легко расщепляющиеся по трещинам спайности. Мощность ~6.5 м.

4. Розовато-серые, в верхней части слоя бордовые, среднеплитчатые аркозовые и субаркозовые кварцитовидные песчаники и гравелиты. В составе гальки увеличивается доля калиевых полевых шпатов. Размер гальки обычно не превышает 5 мм. Мощность ~2.5 м.

5. Бордовые (преимущественно) и розовато-серые, мелко-, среднезернистые среднеплитчатые аркозовые кварцитовидные песчаники и гравелиты. В верхней части слоя преобладают гравелиты, в которых в составе гальки увеличивается доля кварца. В песчаниках отмечается тонкая горизон-

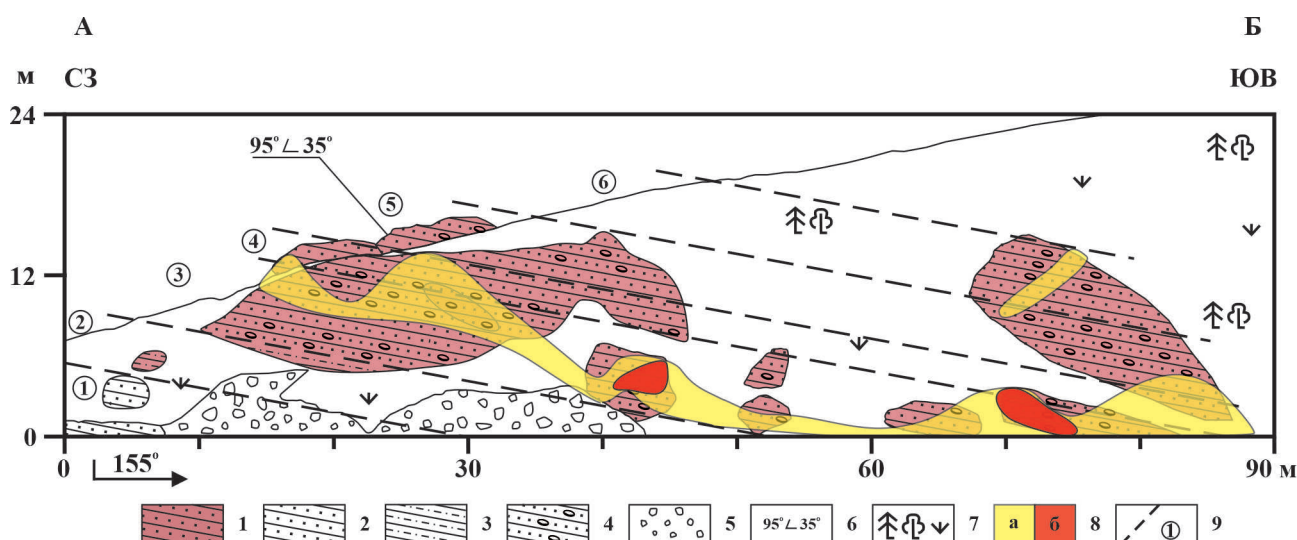


Рис. 2. Геологический разрез бирьянской подсвиты в северном окончании западного склона хребта Зильмердак
Условные обозначения: 1–2 — песчаники: 1 — розовато-серые, бордовые, вишнево-красные; 2 — желтовато-серые; 3 — алевролиты; 4 — гравелиты; 5 — осыпь; 6 — элементы слоистости пород; 7 — задернованные интервалы; 8 — зоны с повышенным содержанием в породах As: а — 5–10 г/т, б — 30–200 г/т; 9 — границы слоев и их номера.

Fig. 2. Geological section of the Biryan subformation at the northern end of the western slope of the Zilmerdak ridge
Legend: 1–2 — sandstones: 1 — pinkish-gray, burgundy, cherry-red; 2 — yellowish-gray; 3 — siltstones; 4 — gravelites; 5 — scree; 6 — elements of rock bedding; 7 — closed intervals; 8 — zones with a high content in rocks As: a — 5–10 g/t, б — 30–200 g/t; 9 — layer boundaries and their numbers.

тальная слоистость, подчеркиваемая прослойками крупнопсаммитового материала. Падение слоистости в $95^\circ < 35^\circ$. Мощность ~ 4.5 м.

6. Розовато-серые мелкозернистые среднеплитчатые аркозовые, полевошпат-кварцевые, кварцевые песчаники с прослоями в верхней части слоя вишнево-красных гравелитов. В гравелитах отмечается редкая мелкая (< 3 мм) галька кварца и калиевого полевого шпата. Мощность ~ 5 м.

Материалы и методы

В разрезе отобрано 60 образцов. Отбор проводили по сетке примерно 2×6 м, в отдельных местах — 1×1 м. Содержания в породах петрогенных оксидов и редких элементов (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , $\text{S}_{\text{общ}}$, P_2O_5 , V , Cr , Co , Ni , Cu , Zn , As , Rb , Sr , Y , Zr , Ba , Pb) определяли рентгенофлуоресцентным анализом, который выполнен на спектрометре X-Calibur (Xenometrix LTD, Израиль) (Ag-анод, 15–50 кВ, 60–1000 мА). Предел обнаружения при измерении петрогенных оксидов составлял 0.01–0.2 мас. %, редких элементов — 5–10 г/т.

Кроме того, низкие содержания As (< 5 г/т) в породах измеряли на фотоэлектрическом фотометре КФК-3–01 по усовершенствованной нами методике с подбором оптимальных параметров пробоподготовки [Казбулатова, Мичурин, 2022; Казбулатова и др., 2022]. Предварительно пробы разлагали смесью азотной и серной кислот. Затем As в виде арсина (AsH_3) отделяли от мешающих элементов дистилляцией с использованием зернистого цинка. Арсин поглощали раствором йода с образованием арсенат-иона (AsO_4^{3-}), определяемого фотометрически в виде мышьяковолибденовой сини. Предел обнаружения составлял 0.1 г/т. По нашим данным [Казбулатова, Мичурин, 2022; Казбулатова и др., 2022], относительная погрешность фотометрического метода по сравнению с методом ИСП-МС составляет 3.0–40.7 отн. %, что не превышает требований ОСТ 41-08-214-04.

Изучение состава минералов в породах проведено в полированных шлифах на электронном микроскопе Tescan Vega Compact (Чехия) с энерго-дисперсионным анализатором Explorer 15 Oxford Instruments. Обработка спектров производилась автоматически при помощи программного пакета AzTec One с использованием методики TrueQ. При съемке использованы: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда 4 нА, время накопления спектра в точке 60 секунд в режиме «Point&ID», диаметр пучка составлял ~ 3 мкм.

Результаты исследования

Средний химический состав пород разреза и содержание в них редких элементов приводится в таблице. Вариации в породах содержаний металлов Cr (13–51 г/т), Ni (13–41 г/т), Cu (8–74 г/т), Zn (24–36 г/т), Pb (10–26 г/т) сопоставимы с их средними концентрациями в песчаниках бирьянской подсыты, которые приводятся в работе [Анфимов, 1997]. Содержания этих элементов в разных слоях изученного разреза в целом сходны. Исключение представляет Cu, максимальные концентрации которой фиксируются в слое 3. Содержания As в породах варьируют от менее 1 до 207 г/т. Его наибольшие концентрации установлены в слое 3, в котором они имеют значимые положительные коэффициенты корреляции с содержаниями Cu ($K_{\text{корр}} = 0.92$) и Pb ($K_{\text{корр}} = 0.60$). Из других элементов слабую связь с As обнаруживают Cr и Fe с коэффициентами корреляции соответственно 0.42 и 0.27.

По результатам энерго-дисперсионного микроанализа установлено, что в породах главными минералами-концентраторами As являются арсенопирит и гетит. Мелкие (~ 10 мкм) включения арсенопирита встречены в кварцевых зернах матрицы гравелитов (рис. 3 а, б). Арсенопирит содержит примеси Co (~ 1.5 мас. %) и Ni (~ 0.3 мас. %). Гетит преимущественно выполняет пустотные пространства прямоугольного и треугольного сечения размером до 300 мкм (см. рис. 3 в — д), которые, по-видимому, остались от выщелоченного арсенопирита и/или мышьяковистого пирита. Гетит также часто развивается по границам зерен кварца матрицы гравелитов (см. рис. 3 д), выполняет в них тонкие трещины (см. рис. 3 г), встречается в виде оторочек вокруг кварцевых галек (см. рис. 3 е, ж) и наблюдается по трещинам спайности калиевого полевого шпата (см. рис. 3 з, и). В гетите обнаруживаются постоянные примеси As (0.9–2.1 мас. %) и Cu (0.5–1.1 мас. %), реже примеси Mo (0.3–0.9 мас. %), Co (0.2–0.3 мас. %), Cr (0.1–0.2 мас. %). Из нерудных примесных элементов наибольшие содержания в гетите имеют Al (1.1–1.9 мас. %) и Si (1.5–1.7 мас. %), а P, S, Cl, Ca отмечаются в низких содержаниях на уровне 0.1–0.4 мас. %.

Обсуждение результатов

Полученные данные по микроэлементному составу показывают, что породы разреза характеризуются повышенными содержаниями As. В сред-

нем они в 2–13 раз выше кларка этого элемента для песчаников (1 г/т по [Turekian, Wedepohl, 1961]) (см. табл). Однако, As в породах разреза в настоящее время содержится, главным образом, во вторичном гетите. Мышьяк не может входить в его структуру, но способен на поверхности этого минерала образовывать прочные комплексные соединения [Grossl et al., 1997]. Гетит, вероятно всего, замещает арсенопирит и/или мышьяковистый пирит. Следовательно, можно сделать вывод, что ранее в породах разреза арсенопирит и/или мышьяковистый пирит присутствовали

в значительном количестве. Судя по результатам минералогического изучения, эти минералы имели гидротермально-метасоматическую природу.

Распределение As в разрезе зонально (см. рис. 2). Его наибольшие концентрации установлены в слое 3. Представляется, что это не случайно. Породы этого слоя представлены в основном гравелитами, которые залегают на алевролитах (слой 2, см. рис. 2). Алевролиты обладают меньшей компетентностью по сравнению с гравелитами и песчаниками (например, [Singh, Coel, 1999; Cleveland et al., 2014; Khan et al., 2021]). При тектонических

Таблица. Средний химический состав (мас. %) пород бирьянской подсвиты и содержание в них редких элементов (г/т) в разрезе на западном склоне хр. Зильмердак
Table. Average chemical composition (wt. %) of rocks of the Biryana subformation and the content of rare elements in them (g/t) in the section on the western slope of the Zilmerdak ridge

| Оксид, элемент | Слой 1 | Слой 2 | Слой 3 | Слой 4 | Слой 5 | Слой 6 |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | n = 2 | n = 4 | n = 33 | n = 6 | n = 10 | n = 5 |
| SiO ₂ | 80.68 | 72.06 | 84.54 | 78.42 | 83.89 | 86.62 |
| TiO ₂ | 0.09 | 0.24 | 0.22 | 0.12 | 0.21 | 0.32 |
| Al ₂ O ₃ | 10.66 | 15.78 | 8.79 | 12.00 | 8.98 | 7.77 |
| Fe ₂ O ₃ | 2.41 | 2.83 | 1.74 | 2.48 | 2.04 | 1.82 |
| MnO | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 |
| CaO | 0.30 | 0.39 | 0.27 | 0.32 | 0.31 | 0.18 |
| MgO | 0.76 | 1.30 | 0.66 | 0.85 | 0.75 | 0.64 |
| K ₂ O | 3.97 | 6.00 | 2.76 | 4.67 | 2.68 | 1.87 |
| Na ₂ O | 0.43 | 0.43 | 0.24 | 0.47 | 0.24 | 0.14 |
| S _{общ} | <0.01 | <0.01 | 0.01 | <0.01 | <0.01 | 0.02 |
| ППП | 0.13 | 0.65 | 0.21 | 0.27 | 0.30 | 0.16 |
| V | <5 | 18 | <5 | 5 | <5 | <5 |
| Cr | 32 | 25 | 38 | 32 | 36 | 43 |
| Ni | 17 | 20 | 27 | 20 | 24 | 28 |
| Cu | 14 | 11 | 18 | 14 | 17 | 12 |
| Zn | 27 | 31 | 28 | 26 | 28 | 30 |
| As | 3 | 4 | 13 | 5 | 2 | 5 |
| Rb | 79 | 114 | 83 | 95 | 73 | 70 |
| Sr | 56 | 73 | 54 | 63 | 48 | 44 |
| Y | 21 | 30 | 18 | 23 | 18 | 16 |
| Zr | 80 | 130 | 79 | 89 | 85 | 102 |
| Nb | – | – | 6 | – | 7 | 8 |
| Ba | – | – | 350 | – | 283 | 237 |
| Pb | – | – | 13 | – | 17 | 14 |
| сумма | 99.49 | 99.74 | 99.52 | 99.66 | 99.45 | 99.60 |

Примечание. n — количество образцов. Прочерк — нет данных. Содержания P₂O₅ и Co во всех образцах ниже предела обнаружения.
Note. n — number of samples. Dash — no data. The contents of P₂O₅ and Co in all samples are below the detection limit.

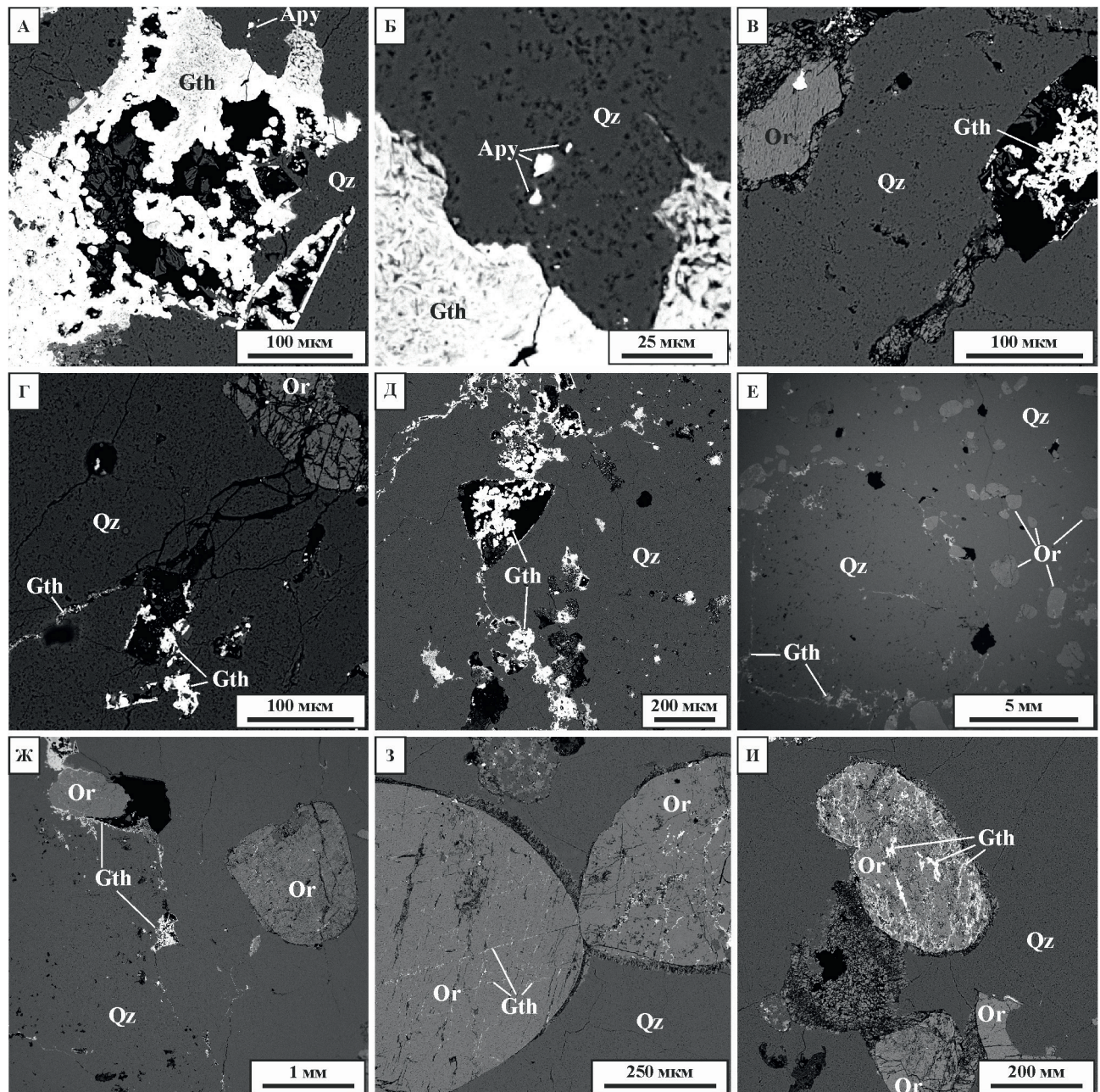


Рис. 3. Породообразующие и акцессорные минералы пород бирьянской подсвиты на BSE-изображениях

Условные обозначения: *Qz* — кварц; *Or* — калиевый полевой шпат; *Gth* — гетит; *Apy* — арсенопирит. А — Б — мелкие зерна арсенопирита в кварце вблизи гетита, замещающего арсенопирит или мышьяковистый пирит. В — Д — гетит, развивающийся в пустотных пространствах прямоугольного и треугольного сечения, оставшиеся от выщелоченного арсенопирита или мышьяковистого пирита. Гетит выполняет трещины (Г) и развивается по границам зерен кварца (Д). Е — Ж — гетит в виде оторочки вокруг хорошо окатанной кварцевой гальки диаметром 7–8 мм. З — И — гетит, развивающийся по трещинам спайности калиевого полевого шпата.

Fig. 3. Rock-forming and accessory minerals of rocks of the Biryansky subformation on BSE-images

Legend: *Qz* — quartz; *Or* — potassium feldspar; *Gth* — goethite; *Apy* — arsenopyrite. A — B are small grains of arsenopyrite in quartz near goethite replacing arsenopyrite or arsenical pyrite. B — D — goethite, developing in empty spaces of rectangular and triangular cross-sections, remaining from leached arsenopyrite or arsenical pyrite. Goethite fills cracks (Г) and develops along the boundaries of quartz grains (Д). E — Ж — goethite in the form of fringes around a well — rounded quartz pebble with a diameter of 7–8 mm. Z — И — goethite, developing along the cleavage cracks of potassium feldspar.

деформациях это должно было приводить к формированию разрывов и трещин в первую очередь в более компетентных гравелитах и песчаниках [Рамберг, 1970; Попова, Соколова, 1982; Крапивнер, 1986]. Кроме того, по сравнению с породами других слоев разреза породы слоя 3 характеризуются более крупнозернистым составом и большими размерами кварцевой и полевошпатовой гальки, что делает их более хрупкими и в большей степени подверженными развитию в них трещиноватости. Наконец, алевролиты слоя 2 могли выступать в роли флюидоупора при послонном движении метасоматических флюидов по трещиноватым породам вышележащего слоя 3. Таким образом, установленная зональность в распределении As хорошо объясняется литологическими особенностями пород разреза.

Подобная картина наблюдалась нами ранее в золоторудном месторождении Улюк-Бар, залегающего в песчаниках большеинзерской свиты нижнего рифея в ~60 км южнее рассматриваемого участка. В месторождении установлен четкий литологический контроль гидротермального оруденения, когда золотоносные мышьяковистый пирит и арсенопирит развивались в песчаниках и на их границах с алевролитами и сланцами, но практически отсутствовали в последних [Мичурин и др., 2018; Шарипова, 2021].

Хорошо известно (например, [Boyle, Jonasson, 1973; Yang, Blum, 1999; Zhou et al., 2015]), что мышьяк является спутником золота в золоторудных месторождениях, а также распространенным элементом во многих типах месторождений полезных ископаемых, которые содержат сульфиды и сульфосоли. Он является хорошим индикатором при геохимических исследованиях по первичным и вторичным ореолам и обычно сопутствует Cu, Ag, Au, Zn, Hg, U, Sn, Pb, Sb, Bi, Se, Te, Mo, W, Ni, Co, Pt и некоторым другим элементам [Boyle, Jonasson, 1973; Yang, Blum, 1999; Zhou et al., 2015].

По результатам многочисленных определений в рифейских осадочных породах Башкирского мегантиклинория, не связанных с каким-либо оруденением, мышьяк не установлен (сводка данных спектрального полуколичественного анализа приводится в [Анфимов, 1997]). В то же время нами показано [Мичурин и др., 2009; 2018; Ковалев и др., 2020; Шарипова, 2021; Казбулатова и др., 2022], что в месторождениях и рудопоявлениях золота, локализованных в рифейских отложениях в южной части Башкирского мегантиклинория, содержания Au в породах и рудах обнаруживают

положительную геохимическую связь только с содержаниями As. В качестве поисковых критериев выделены следующие: структурный (приуроченность оруденения к зонам разломов), литологический (оруденение локализуется преимущественно в песчаниках, как менее пластичных и более хрупких породах), геохимический (появление ореолов As), минералогический (появление среди сульфидов мышьяковистого пирита, арсенопирита, галенита, а из жильных карбонатных минералов анкерита) [Мичурин и др., 2018; Шарипова, 2021]. Сделан вывод о том, что для выявления новых золоторудных участков наибольшее значение имеет геохимический критерий, а именно связь Au с As и увеличение концентраций мышьяка в первичных и вторичных ореолах рассеяния [Ковалев и др., 2020; Казбулатова и др., 2022].

Почти все приведенные поисковые признаки золоторудного оруденения присутствуют в рассматриваемом разрезе. Отметим, что породы разреза подвергались тектоническим деформациям. На это указывают встречающиеся в породах зеркала скольжения, причины возникновения которых остаются пока не выясненными. Для решения этого вопроса необходимо проведение дальнейших исследований. Вместе с тем отсутствие жильной минерализации в породах изученного разреза, вероятно, говорит о том, что они в этом месте подвергались деформациям в условиях сжатия. Обычно это не приводит к образованию значительных рудных скоплений. Более перспективной в этом отношении видится зона, расположенная в 2–3 км восточнее рассматриваемого разреза, где отложения бирьянской подсвиты прорывают многочисленные дайки инзерского габбродолеритового комплекса (см. рис. 1). С этим комплексом мы связываем образование медистого золота, ранее обнаруженного нами в рифейских отложениях в трех различных местах Башкирского мегантиклинория [Мичурин, Шарипова, 2022]. Источником As для пород изученного разреза также могли выступать постмагматические флюиды, связанные с инзерским габбродолеритовым комплексом. В целом из приведенных материалов следует, что отложения бирьянской подсвиты заслуживают внимания с точки зрения обнаружения в них золоторудного оруденения.

Выводы

В разрезе бирьянской подсвиты в Инзерском синклинии на западном склоне хребта Зильмердак

установлены типичные для песчаников этого стратиграфического уровня содержания Cr, Ni, Cu, Zn, Pb и повышенные концентрации As, которые в среднем в 2–13 раз выше кларка. As имеет сильную положительную связь с Cu, Pb и слабую — с Cr, Fe. Главными минералами-концентраторами As являются арсенопирит и гетит. Арсенопирит содержит примеси Co и Ni. Гетит преимущественно замещает выщелоченный арсенопирит и/или мышьяковистый пирит, а также развивается по границам зерен кварца, встречается в виде оторочек вокруг кварцевых галек и наблюдается по трещинам спайности калиевого полевого шпата. В гетите помимо As обнаруживаются примеси Cu, Mo, Co, Cr.

Распределение As в разрезе зонально. Его наибольшие концентрации до 207 г/т установлены в слое 3. Зональность объясняется литологическим контролем, а именно приуроченностью As к компетентным породам разреза — гравелитам, которые подстилаются менее компетентными алевролитами. Предполагается, что алевролиты выступали в роли флюидоупора при послонном движении метасоматических флюидов.

Породы изученного разреза обладают литологическими, геохимическими и минералогическими поисковыми признаками на золотое оруденение. Перспективным предполагается участок в восточном продолжении разреза, в котором отложения бирьянской подсвиты прорывают многочисленные дайки инзерского габродолеритового комплекса. Обогащение пород изученного разреза As, возможно, было обусловлено циркуляцией постмагматических флюидов, связанных с дайками этого комплекса.

Список литературы

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

Гареев Э. З. Геохимия осадочных пород стратотипического разреза рифея. Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М: ГЕОХИ, 1989. 23 с.

Казбулатова Г. М., Мичурин С. В. Определение мышьяка в горных породах и почвах с применением фотометрии // Химия в интересах устойчивого развития. 2022. № 30. С. 255–263. DOI: 10.15372/ChUR2022379.

Казбулатова Г. М., Мичурин С. В., Шарипова А. А., Султанова А. Г., Ахмедова Р. Р. Применение фотометрического метода для определения мышьяка в горных породах Авзянского золоторудного района на Южном Урале //

Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий: Материалы / 14-я Межрегиональная научно-практическая конференция. Уфа, 2022. Москва: Перо. С. 77–83.

Князев Ю. Г. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1 000 000 (третье поколение). Уральская серия. Геологическая карта доплиоценовых образований. N-40 (Уфа). Санкт-Петербург: ФГУП «ВСЕГЕИ», 2010.

Козлов В. И. Верхний рифей и венд Южного Урала. Москва: Наука, 1982. 128 с.

Ковалев С. Г., Высоцкий И. В., Пучков В. Н., Маслов А. В., Гареев Э. З. Геохимическая специализация структурно-вещественных комплексов Башкирского мегантиклинория. Уфа: ДизайнПресс, 2013. — 268 с.

Ковалев С. Г., Мичурин С. В., Маслов А. В., Шарипова А. А. Первые данные о геохимии редкоземельных элементов и платиноидов в породах золоторудного месторождения Улюк-Бар (Южный Урал) // Литосфера, 2020. Т. 20, № 4. С. 573–591.

Крапивнер Р. Б. Бескорневые неотектонические структуры. Москва: Недра, 1986, 204 с.

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

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

Маслов А. В., Крупенин М. Т., Гареев Э. З. Литологические, литохимические и геохимические индикаторы палеоклимата (на примере рифея Южного Урала) // Литология и полезные ископаемые. 2003. № 5. С. 427–446.

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

Мичурин С. В., Шарипова А. А. Первые находки медистого золота в рифейских отложениях Башкирского мегантиклинория (Южный Урал) // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2022. № 3. С. 52–65. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2022/3>

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. 2018. Т. 18, № 1. С. 61–81.

Попова Е. В., Соколова Е. Л. Прогнозирование разжижения песчаных грунтов при сильных землетрясениях // Вопросы инженерной сейсмологии, 1982. Вып. 22. С. 97–111.

Рамберг Х. Моделирование деформаций земной коры с применением центрифуги. Москва: Мир, 1970. 224 с.

Стратотип рифея. Стратиграфия. Геохронология/под ред. Б. М. Келлера, Н. М. Чумакова. Москва: Наука, 1983. 184 с.

Шарипова А. А. Минералогия и геохимия месторождений и рудопроявлений золота Авзянского рудного

района (Южный Урал). Автореф. дисс. канд. геол.-мин. наук. Уфа. 2021. 17 с.

Филиппов В. А., Акбашев Р. М. К находкам стратифицированной медной и баритовой минерализации в каратауской серии западного склона Южного Урала // Геология и условия образования месторождений меди на Южном Урале. Уфа. 1975. С. 144–148.

Филиппов В. А. Перспективы выявления осадочных месторождений меди в верхнерифейских отложениях западного склона Южного Урала // Руды и металлы. 2009. №2. С. 23–27.

Филиппов В. А., Кутовой А. К., Рябинин В. Ф. Новая находка сульфидов меди в зильмердакской свите неопротерозоя на западном склоне Южного Урала // Руды и металлы. 2015. №2. С. 50–55.

Филиппов В. А. Уфимский тектоноконцентр: особенности развития в неопротерозое и признаки влияния на миграцию углеводородов и рудогенез // Уральский геологический журнал. 2020. №5 (137). С. 35–45.

Яковлев Г. Б., Иванов А. И. Объяснительная записка. Государственная геологическая карта СССР. Масштаб 1:200000. Лист №40-XVI. Москва, 1959. Т. 1. 132 с.

Boyle R. W., Jonasson I. R. The geochemistry of arsenic and its use as an indicator element in geochemical prospecting // Journal of Geochemical Exploration. 1973. №2. P. 251–296.

Cleveland C., Garrard R. M., McLemore D. M., Yon J. C. E., Kidman G., MacLean J. S. Strain Accommodation in the Footwall of the Rubys Inn Thrust Fault, Hillsdale Canyon, Southern Utah // The Compass: Earth Science Journal of Sigma Gamma Epsilon. 2014. V. 86 (4). P. 102–117.

Cox D. P., Lindsey D. A., Singer D. A., Diggles M. F. Sediment hosted copper deposits of the world. Deposit models and database. US Geological Survey. Open-file report 03–107. 2007. 50 p.

Grossl P., Eick M., Sparks D., Goldberg S., Ainsworth C. C. Arsenate and Chromate Retention Mechanisms on Goethite. 2. Kinetic Evaluation Using a Pressure-Jump Relaxation Technique // Environ. Sci. Technol. 1997. V. 31 (№2). P. 321–326.

Hitzman M. W., Selley D., Bull S. Formation of Sedimentary Rock-Hosted Stratiform Copper Deposits through Earth History // Economic Geology. 2010. V. 105 (3). P. 627–639. DOI:10.2113/gsecongeo. 105.3.627.

Kirkham R. V. Distribution, settings, and genesis of sediment-hosted stratiform copper deposits in Boyle sediment-hosted stratiform copper deposits // Geological Association of Canada. Special Paper. 1989. V. 36. P. 3–38.

Khan M., Khangar R. G., Raychowdhury N., Babhare A. T. Slumping as a record of regional tectonics and palaeoslope changes in the Satpura Basin, central India // Geologos, 2021. Vol. 27, 2. P. 93–103. DOI: 10.2478/lo-gos-2021-0010

Singh B., Coel R. K. Rock Mass Classifications // A Practical Approach in Civil Engineering. 1999. 267 p.

Turekian K. K., Wedepohl K. H. Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust. Geological Society of America Bulletin. 1961. V. 72. P. 175–192. DOI: [http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606\(1961\)72\[175: DOTEIS\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1961)72[175: DOTEIS]2.0.CO;2).

Zhou S., Zhou K., Cui Y., Wang J., Ding J. Identifying geochemical anomalies according to the content and co-efficient variance of trace elements // Scientia Geologica Sinica. 2015. DOI: 50 (3):1014–1022. DOI: 10.3969/j. issn. 0563-5020.2015.03.023.

Yang S. X., Blum N. Arsenic as an indicator element for gold exploration in the region of the Xiangxi Au — Sb — W deposit // NW Hunan, PR China Journal of Geochemical Exploration. 1999. V. 66. P. 441–456.

References

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

Gareev E. Z. (1989). *Geoximiya osadochny'x porod stratotipicheskogo razreza rifeya*. Avtoreferat Dis. Kand. nauk [Geochemistry of sedimentary rocks of the stratotypic Riphean section. Cand. Diss. Abstract]. Moscow, 23 p. (In Russian).

Kazbulatova G. M., Michurin S. V. (2022). Determination of arsenic in rocks and soils using photometry. *Chemistry for sustainable Development*, (3), 255–263.

Kazbulatova G. M., Michurin S. V., Sharipova A. A., Sultanova A. G., Akhmedova R. R. (2022). Application of the photometric method for the determination of arsenic in rocks of the Avzyan gold district in the Southern Urals. *Geologiya, polezny'e iskopaemy'e i problemy' geoe'kologii Bashkortostana, Urala i sopredel'ny'x territorij: Materialy' 14-oj Mezhhregional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii* [Geology, minerals and problems of geoecology of Bashkortostan, the Urals and adjacent territories: materials of 14th Interregional Scientific Practical Conference]. Ufa, 77–83. (In Russian).

Knyazev Yu. G. (2010) *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii masshtaba 1:1 000 000 (tret'e pokolenie). Ural'skaya seriya. Geologicheskaya karta dopliocenovyh obrazovaniy. N-40 (Ufa)* [State geological map of the Russian Federation scale 1:1 000 000 (third generation). Ural series. Geological map of pre-Pliocene formations. N-40 (Ufa)]. Saint Petersburg: VSEGEI. (In Russian).

Kozlov V. I. (1982) *Verxnij rifej i vend Yuzhnogo Urala* [The Upper Riphean and the Wend of the Southern Urals]. Nauka Publ., Moscow, 128 p. (In Russian).

Kovalev S. G., Vysotsky I. V., Puchkov V. N., Maslov A. V., Gareev E. Z. (2013). *Geokhimicheskaya spetsializatsiya strukturnoveshchestvennykh kompleksov Bashkirskogo megantiklinoriya* [Geochemical specialization of structural-material complexes of the Bashkir meganticlinorium]. DizainPress Publ., Ufa, 268 p. (In Russian).

Kovalev S. G., Michurin S. V., Maslov A. V., Sharipova A. A. (2020). Pervy'e dannye o geoximii redkozemel'ny'x elementov i platinoidov v porodax zolotorudnogo mestorozhdeniya Ulyuk-Bar (Yuzhny'j Ural) [The first data on the geochemistry of rare earth elements

and platinoids in the rocks of the Ulyuk-Bar gold deposit (Southern Urals)]. *Lithosphere*, (20), 573–591. (In Russian).

Krapivner R. B. (1986). *Beskornevyne neotektonicheskie struktury* [Rootless neotectonic structures]. Nedra Publ., Moscow, 204 p.

Maslov A. V. (1988). *Litologiya verkhnerifejskikh otlozhenii. Bashkirskogo megantiklinoriya* [Lithology of Upper Riphean deposits of the Bashkir meganticlinorium]. Nauka Publ., Moscow, 133 p. (In Russian).

Maslov A. V., Krupenin M. T., Gareev E. Z., Anfimov L. V. (2001). *Rifei zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala. Tom 3* [Riphean of the western slope of the Southern Urals. Volume 3]. IGG UR O RAN publ., Ekaterinburg, 132 p. (In Russian).

Maslov A. V., Krupenin M. T., Gareev E. Z. (2003). *Litologicheskie, litoximicheskie i geoximicheskie indikatory' paleoklimata (na primere rifeya Yuzhnogo Urala)* [Lithological, lithochemical, and geochemical indicators of paleoclimate: evidence from Riphean of the Southern Ural]. *Lithology and Mineral Resources*, 38 (5), 427–446. (In Russian).

Michurin S. V., Kovalev S. G., Gorozhanin V. M. (2009). *Genesis sul'fatov i sul'fidov v nizhnerrifejskikh otlozheniyah Kamsko-Bel'skogo avlakogena i Bashkirskogo megantiklinoriya* [The genesis of sulfates and sulfides in the Lower Riphean deposits of the Kamsk-Belsk Avlakogen and Bashkir meganticlinorium]. DesignPolygraphService publ., Ufa, 192 p. (In Russian).

Michurin S. V., Sharipova A. A. (2022). *Pervy'e nakhodka medno-zolotogo v rifejskikh otlozheniyah Bashkirskogo megantiklinoriya (Yuzhny'j Ural)* [The first finds of copper gold in the Riphean deposits of the Bashkir meganticlinorium (Southern Urals)]. *Bulletin of the Voronezh State University. Series: Geology*, (3), 52–65. (In Russian).

Michurin S. V., Sharipova A. A., Krupenin M. T., Zamyatin D. A., Musina A. M., Popov V. A. (2018). *Sul'fidnaya mineralizatsiya, samorodnoe zoloto i ego geoximicheskie svyazi v rifejskikh otlozheniyah Avzyanskogo rudnogo rajona (Yuzhny'j Ural)* [Sulfide mineralization, native gold and its geochemical connections in the Riphean deposits of the Avzyan ore-bearing region (the Southern Urals)]. *Lithosphere*, 18, (1), 61–81. (In Russian).

Popova E. V., Sokolova E. L. (1982). *Prognozirovaniye razzhizheniya peschanykh gruntov pri sil'nykh zemletraseniyah* [Forecasting the liquefaction of sandy soils during strong earthquakes] // *Questions of Engineering Seismology*, (22), 97–111. (In Russian).

Ramberg X. (1970). *Modelirovaniye deformatsiy zemnoj kory s primeneniem centrifugi* [Modeling of deformations of the Earth's crust using a centrifuge]. Mir Publ., Moscow, 224 p.

Stratotip rifeya: Stratigrafiya: Geokhronologiya. [The stratotype of the Riphean: Stratigraphy: Geochronology]. Ed. by B. M. Keller, N. M. Chumakov. Nauka publ., Moscow, 1983. 184 p. (In Russian). (In Russian).

Sharipova A. A. (2021). *Mineralogiya i geokhimiya mestorozhdeniy i rudoproyavleniy zolota Avzyanskogo rudnogo rayona (Yuzhny Ural)*. Avtoreferat Dis. Kand. nauk [Mineralogy and geochemistry of gold deposits and ore occurrences of the Avzyan ore region (Southern Urals). Cand. Diss. Abstract]. Ufa, 17 p. (In Russian).

Filippov V. A., Akbashev R. M. (1975). *K nahodkam stratificirovannoy mednoj i baritovoy mineralizatsii v karatauskoj serii zapadnogo sklona YUzhnogo Urala* [To the findings of stratified copper and barite mineralization in the Karatau series of the western slope of the Southern Urals]. *Geology and conditions of formation of copper deposits in the Southern Urals*. Ufa, 144–148. (In Russian).

Filippov V. A. (2009). *Perspektivy vyyavleniya osadochnykh mestorozhdeniy medi v verhnerrifejskikh otlozheniyah zapadnogo sklona YUzhnogo Urala* [Prospects for the identification of sedimentary copper deposits in the Upper Riphean deposits of the western slope of the Southern Urals]. *Ores and metals*, (2), 23–27. (In Russian).

Filippov V. A., Kutovoy A. K., Ryabinin V. F. (2015). *Novaya nahodka sul'fidov medi v zil'merdakskoj svite neoproterozoya na zapadnom sklone YUzhnogo Urala* [A new finding of copper sulfides in the Zilmerdak formation of the Neoproterozoic on the western slope of the Southern Urals]. *Ores and metals*, (2), 50–55. (In Russian).

Filippov V. A. (2020). *Ufimskij tektonokoncentr: osobennosti razvitiya v neoproterozoe i priznaki vliyaniya na migratsiyu uglevodorodov i rudogenez* [Ufa tectonocenter: features of development in the Neoproterozoic and signs of influence on the migration of hydrocarbons and ore genesis]. *Ural Geological Journal*, 5 (137), 35–45. (In Russian).

Yakovlev G. B., Ivanov A. I. (1959). *Ob'yasnitel'naya zapiska. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta SSSR. Masshtab 1:200000. List №-40-XVI* [Explanatory note. State Geological Map of the USSR. Scale 1:200000. Sheet №-40-XVI]. Moscow, (1), 132 p. (In Russian).

Boyle R. W., Jonasson I. R. (1973). *The geochemistry of arsenic and its use as an indicator element in geochemical prospecting* // *Journal of Geochemical Exploration*, (2), 251–296.

Cleveland C., Garrard R. M., McLemore D. M., Yon J. C. E., Kidman G., MacLean J. S. (2014). *Strain Accommodation in the Footwall of the Rubys Inn Thrust Fault, Hillsdale Canyon, Southern Utah* // *The Compass: Earth Science Journal of Sigma Gamma Epsilon*, 86 (4), 102–117.

Cox D. P., Lindsey D. A., Singer D. A., Diggles M. F. (2007). *Sediment hosted copper deposits of the world. Deposit models and database. US Geological Survey. Open-file report 03–107*. 50 p.

Grossl P., Eick M., Sparks D., Goldberg S., Ainsworth C. C. (1997). *Arsenate and Chromate Retention Mechanisms on Goethite. 2. Kinetic Evaluation Using a Pressure-Jump Relaxation Technique* // *Environ. Sci. Technol*, 31 (2), 321–326.

Hitzman M. W., Selley D., Bull S. (2010). *Formation of Sedimentary Rock-Hosted Stratiform Copper Deposits through Earth History. Economic Geology*, 105 (3), 627–639. DOI:10.2113/gsecongeo. 105.3.627.

Kirkham R. V. (1989). *Distribution, settings, and genesis of sediment-hosted stratiform copper deposits in Boyle sediment-hosted stratiform copper deposits*. Geological Association of Canada. Special Paper, (36), 3–38.

Khan M., Khangar R. G., Raychowdhury N., Babhare A. T. (2021). *Slumping as a record of regional tectonics and palaeoslope changes in the Satpura Basin, central India* // *Geologos*, 27 (2), 93–103. DOI: 10.2478/logos-2021–0010

Singh B., Coel R. K. (1999). Rock Mass Classifications // *A Practical Approach in Civil Engineering*, 267 p.

Turekian K. K., Wedepohl K. H. (1961). Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust. *Geological Society of America Bulletin*, (72), 175–192. DOI: [http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606\(1961\)72\[175: DOTEIS\]2.0. CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1961)72[175: DOTEIS]2.0. CO;2).

Zhou S., Zhou K., Cui Y., Wang J., Ding J. (2015). Identifying geochemical anomalies according to the content and coefficient variance of trace elements. *Scientia Geologica Sinica*, 50 (3). DOI: 1014–1022. DOI: 10.3969/j.issn.0563-5020.2015.03.023.

Yang S. X., Blum N. (1999). Arsenic as an indicator element for gold exploration in the region of the Xiangxi Au-Sb-W deposit // *NW Hunan, PR China Journal of Geochemical Exploration*, (66), 441–456.

Сведения об авторах:

Мичурин Сергей Васильевич, кандидат геолого-минералогических наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. s_michurin@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. kazbulatova@mail.ru

Самигуллин Айдар Альфридович, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. samigullinaidar85@gmail.com

Шарипова Айсылу Азатовна, кандидат геолого-минералогических наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. aesylyazatovna@mail.ru

About the authors:

Michurin Sergey Vasilevich, PhD in Geologo-mineralogical sciences, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. s_michurin@mail.ru

Kazbulatova Gulfiya Mavletovna, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: kazbulatova@mail.ru

Samigullin Aidar Alfridovich, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. samigullinaidar85@gmail.com

Sharipova Aisyly Azatovna, PhD in Geologo-mineralogical sciences, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. aesylyazatovna@mail.ru

Статья поступила в редакцию 09.10.2023; одобрена после рецензирования 09.10.2023; принята к публикации 10.11.2023

The article was submitted 09.10.2023; approved after reviewing 09.10.2023; accepted for publication 10.11.2023