

УДК 55(550.442)

DOI: 10.24930/1681-9004-2020-20-4-573-591

Первые данные о геохимии редкоземельных элементов и платиноидов в породах золоторудного месторождения Улюк-Бар (Южный Урал)

С. Г. Ковалев¹, С. В. Мичурин¹, А. В. Маслов^{1,2}, А. А. Шарипова¹

¹Институт геологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН, 450077, г. Уфа, ул. К. Маркса, 16/2, e-mails: kovalev@ufaras.ru, s_michurin@mail.ru

²Институт геологии и геохимии УрО РАН, 620016, г. Екатеринбург, ул. Акад. Вонсовского, 15, e-mail: amas2004@mail.ru

Поступила в редакцию 15.01.2020 г., принята к печати 17.02.2020 г.

Объект исследования. Изучались рудоносные породы золоторудного месторождения Улюк-Бар, расположенного на территории Башкирского мегантиклинория (Южный Урал). **Методы.** Распределение редкоземельных элементов (РЗЭ), элементов платиновой группы (ЭПГ) и Au в рудоносных отложениях определялось методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) на приборах “ELAN-6100 DRC” и “Agilent 7700” с использованием компьютерной программы обработки данных “TOTALQUANT”, включающей автоматический учет изотопных и молекулярных наложений на масс-спектральные аналитические линии определяемых элементов. Химический состав рудных минералов (самородное золото, пирит, пирротин, герсдорфит, халькопирит, арсенопирит и галенит) определен на растровом электронном микроскопе РЭММА-202М с рентгеновским энергодисперсионным спектрометром LZ-5 и детекторами вторичных и отраженных электронов. **Результаты.** Установлена обогащенность рудоносных пород месторождения Улюк-Бар тяжелыми лантаноидами относительно песчанников и сланцев большеинзерской свиты вне пределов рудного поля. Показано, что благороднометаллическая геохимическая специализация рудоносных отложений большеинзерской свиты месторождения Улюк-Бар по ряду параметров близка к таковой в породах машакской свиты Шатакского комплекса, сформировавшейся при воздействии среднерифейского магматизма на осадочные породы верхних этажей земной коры. На основе расчета возраста минералов тория и урана, а также по данным изотопных исследований Rb-Sr (996 ± 26 млн лет) и K-Ar (676–706 млн лет) методами, а также Pb-Pb методом по галенитам (950 млн лет) установлено, что оруденение сформировалось в два этапа, первый из которых связан с тектоно-термальной активизацией на границе среднего и позднего рифея, а второй реализовался около 600 млн лет назад. **Заключение.** Сделан вывод о том, что РЗЭ-ЭПГ-Au рудоносные отложения месторождения Улюк-Бар связаны с полихронными и полигенными процессами, вызванными среднерифейским магматизмом плюмовой природы, проявившимся на обширной территории, а также поздневендским динамотермальным метаморфизмом коллизионного типа.

Ключевые слова: Южный Урал, месторождение Улюк-Бар, редкоземельные элементы, благородные металлы, рудоносные отложения, геохимическая специализация

First data on the geochemistry of rare earth elements and platinumoids in the rocks of the gold mining deposit Ulyuk-Bar (the Southern Urals)

Sergei G. Kovalev¹, Sergei V. Michurin¹, Andrey V. Maslov^{1,2}, Aisylu A. Sharipova¹

¹Institute of Geology, Ufa Federal Research Centre of RAS, 16/2 K. Marx st., Ufa 450077, Russia, e-mails: kovalev@ufaras.ru, s_michurin@mail.ru

²Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of RAS, 15 Akad. Vonsovsky st., Ekaterinburg 620016, Russia, e-mail: amas2004@mail.ru

Received 15.01.2020, accepted 17.02.2020

Research subject. The object of the study is the Ulyuk-Bar gold deposit ore-bearing rocks, located in the Bashkir meganticlinorium (the Southern Urals). **Methods.** The article presents the first data on the distribution of rare earth elements (REE), platinum group elements (PGE) and Au, obtained by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) on “ELAN- 6100 DRC” and “Agilent 7700” with the use of the computer data processing program “TOTALQUANT”, which includes automatic accounting of isotopic and molecular overlays on the mass spectral analytical lines of the determined

Для цитирования: Ковалев С.Г., Мичурин С.В., Маслов А.В., Шарипова А.А. (2020) Первые данные о геохимии редкоземельных элементов и платиноидов в породах золоторудного месторождения Улюк-Бар (Южный Урал). *Литосфера*, **20**(4), 573-591. DOI: 10.24930/1681-9004-2020-20-4-573-591

For citation: Kovalev S.G., Michurin S.V., Maslov A.V., Sharipova A.A. (2020) First data on the geochemistry of rare earth elements and platinumoids in the rocks of the gold mining deposit Ulyuk-Bar (the Southern Urals). *Litosfera*, **20**(4), 573-591. DOI: 10.24930/1681-9004-2020-20-4-573-591

© С.Г. Ковалев, С.В. Мичурин, А.В. Маслов, А.А. Шарипова, 2020

elements. The chemical composition of ore minerals (native gold, pyrite, pyrrhotite, gersdorffite, chalcopyrite, arsenopyrite, and galena) was determined using an REMMA-202M scanning electron microscope with an LZ-5 X-ray energy-dispersive spectrometer and detectors for secondary and reflected electrons. *Results.* As a result of the studies, the enrichment of heavy lanthanides from ore-bearing rocks of the Ulyuk-Bar deposit in comparison with the sandstones and shales of the Bolshoi Inzer Formation outside of the ore field was established. It is shown that the noble-metal geochemical specialization of ore-bearing sediments of the Bolshoi Inzer Formation of the Ulyuk-Bar deposit is similar in a number of parameters to rocks of the Mashak Formation of the Shatak complex, formed under the influence of Middle Riphean magmatism on sedimentary rocks of the upper layers of the earth's crust. Based on the calculation of the age of the minerals thorium and uranium, according to the isotopic studies of Rb-Sr (996 ± 26 Ma) and K-Ar (676–706 Ma) methods and galena by the Pb-Pb method (950 Ma), it was established that mineralization was formed in two stages. The first of which is associated with tectono-thermal activation at the border of the Middle and Late Riphean, and the second was realized about 600 Ma ago. *Conclusions.* It is concluded that the REE-EPG-Au taxonomy of ore-bearing deposits of the Ulyuk-Bar deposit is due to the polychrony and polygenicity of ore formation processes associated with the Middle Riphean plume magmatism, manifested over a vast territory, and the Late Vendian dynamothermal collisional metamorphism.

Keywords: Southern Ural, Ulyuk-Bar deposit, rare earth elements, noble metals, terrigenous deposits, geochemical specialization

ВВЕДЕНИЕ

В геологической истории формирование разновозрастных орогенных месторождений золота происходило в разнообразных геодинамических обстановках с проявлением разнотипного магматизма и метаморфизма, в силу чего вопросы их генезиса и источников вещества активно дискутируются в литературе (Бортников и др., 2004, 2007; Горбачев и др., 2010; Горячев, 2014; Викентьев и др., 2015). Проблема источников вещества остается нерешенной и для месторождений и рудопроявлений золота западного склона Южного Урала (Башкирский мегантиклинорий), относимых к золото-сульфидно-кварцевой и золото-кварцевой формациям. Указанные объекты распространены в Авзянском рудном районе и сосредоточены в Горноприискской (месторождение Горный Прииск, рудопроявления Богряшка и Калашникова Жила), Исмакаевской (месторождение Улюк-Бар, рудопроявления Рамеева жила и Кургашлинское) и Акташской (рудопроявления Восточно- и Западно-Акташское) рудных зонах. Все указанные золоторудные объекты локализованы в терригенных и терригенно-карбонатных отложениях рифея и приурочены к зоне Караташского глубинного разлома (Ковалев и др., 1999; Салихов и др., 2003).

Несмотря на длительную историю изучения золоторудных объектов Башкирского мегантиклинория (Нечаев, 1982; Кац и др., 1986; Бердников, 1987; Рыкус, Сначев, 1999; Сазонов и др., 1999; Ковалев, Высоцкий, 2001; Сазонов, Коротеев, 2009; Мичурин и др., 2009, 2018; Ковалев и др., 2013а; Шарипова и др., 2017), многие вопросы их генезиса остаются открытыми. В частности, до сих пор не вполне выяснена связь оруденения с этапностью геодинамического развития региона, противоречивы оценки многофакторного воздействия тектонических движений, магматизма и метаморфизма на процесс рудообразования и др. В настоящей работе предпринята попытка решения некоторых из пере-

численных выше вопросов на основе данных о геохимической специализации рудоносных пород месторождения Улюк-Бар.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ УЛЮК-БАР

Месторождение Улюк-Бар расположено в осевой части Башкирского мегантиклинория в зоне распространения отложений большеинзерской свиты нижнего рифея (рис. 1). В настоящее время месторождение разрабатывается ООО “СтройТехИнвест”. Рудная зона, сложенная серицит-полевошпат-кварцевыми песчаниками (рис. 2а, б), приурочена к запрокинутому на восток под углом $80-85^\circ$ западному крылу Айгирской антиклинали. В восточном крыле этой структуры песчаники падают на восток под углом $60-65^\circ$. Ядро антиклинали представлено сильно сжатыми и раскливажированными породами сланцево-алевролитового состава.

В пределах месторождения установлены два дайкообразных тела габбродолеритов, которые прослежены в субмеридиональном направлении на расстоянии до 1 км. В непосредственной близости от рудной зоны они сильно изменены и рассланцованы. В них сохраняется офитовая структура и присутствуют реликты роговой обманки (горнблендит), плагиоклаза с гематитом, миндалины выполнены хлоритом. Вмещающие их сланцы и алевролиты карбонатизированы и серицитизированы.

Породы рудоносного комплекса месторождения Улюк-Бар характеризуются развитием зон трещиноватости, смятия, сопровождающихся корами химического выветривания линейно-площадного типа, в которых преобладают продукты начальных стадий разрушения – дезинтеграции, выщелачивания и гидратации. По данным минералогического и рентгенофазового анализов установлено, что глинисто-щелочистые образования коры выветривания состоят из кварца (70–80%), мусковита (5–

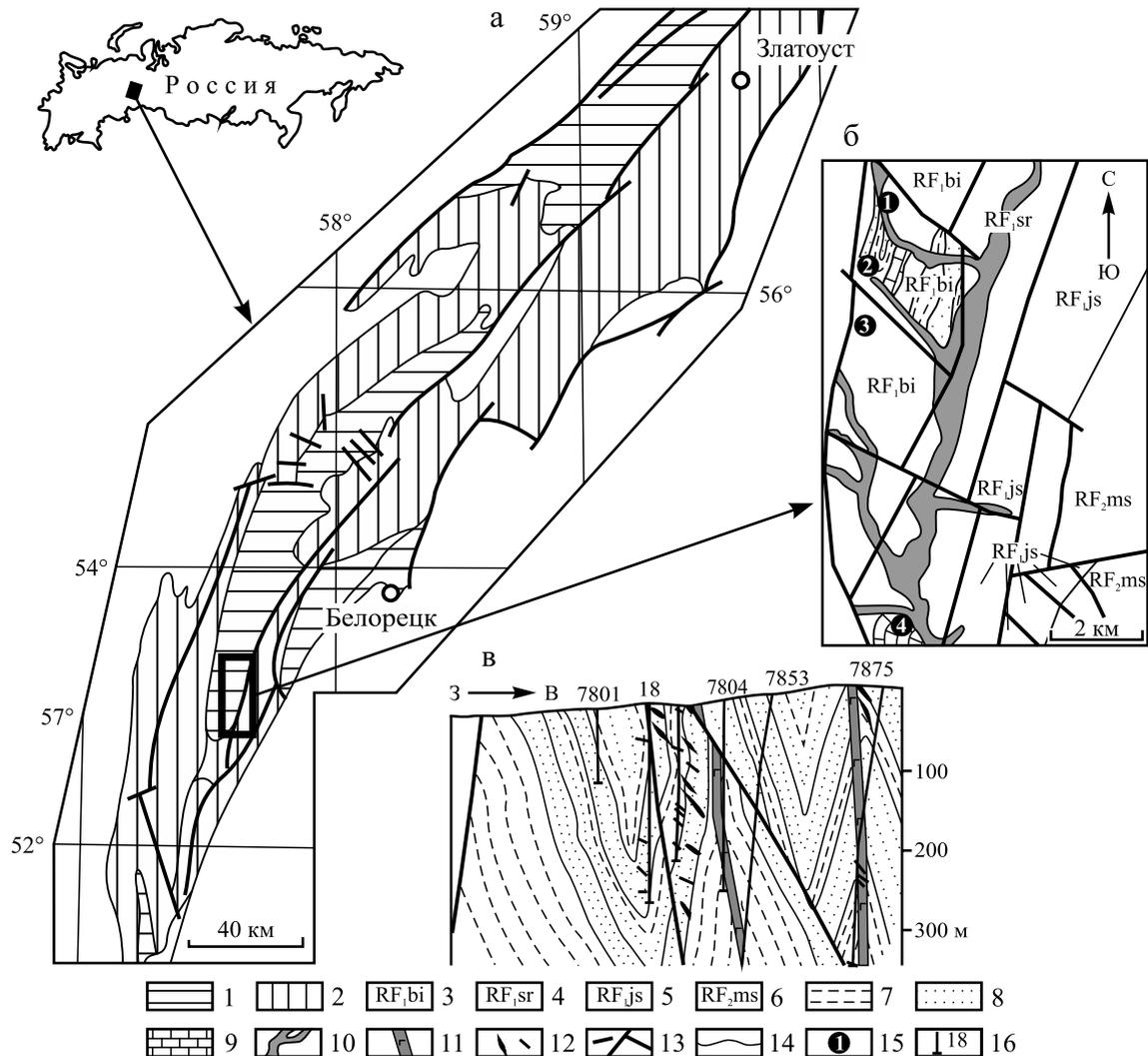


Рис. 1. Геологическая схема центральной части Башкирского мегантиклинория (а) и Исмакаевской рудоносной зоны (б) с разрезом месторождения Улюк-Бар (в).

1 – нижнерифейские отложения нерасчлененные; 2 – среднерифейские отложения нерасчлененные; 3 – большеинзерская свита; 4 – суранская свита; 5 – юшинская свита; 6 – машакская свита; 7 – глинистые сланцы; 8 – алевропесчаники и песчаники; 9 – карбонатные породы; 10 – четвертичные отложения; 11 – дайки габбродолеритов; 12 – кварцевые жилы; 13 – тектонические нарушения; 14 – литологические границы; 15 – рудные объекты (1 – Кургашлинское, 2 – Улюк-Бар, 3 – Рамеева жила, 4 – Богряшка); 16 – скважины и их номера.

Fig. 1. Geological scheme for the central part of the Bashkir meganticlinorium (a) and Ismakaevsk ore zone (b) with section Ulyuk-Bar deposit (v).

1 – Lower Riphean sediments not divided; 2 – Middle Riphean sediments not divided; 3 – Bolshoi Inser Formation; 4 – Suran Formation; 5 – Yusha Formation; 6 – Mashak Formation; 7 – clay shales; 8 – siltstones and sandstones; 9 – carbonate rocks; 10 – Quaternary sediments; 11 – dikes of gabbrodolerites; 12 – quartz veins; 13 – faults; 14 – lithological boundaries; 15 – ore objects (1 – Kurgashlya, 2 – Ulyuk-Bar, 3 – Rameev Vein, 4 – Bogryashka); 16 – wells and their numbers.

20%), каолинита (5–10%), хлорита (до 5%) и гетита (до 5%). Количество рудных минералов (сульфидов) составляет ≈0.05% (Ковалев и др., 2013).

Основной морфологической разновидностью руд являются пологозалегающие в 30–40-метровом пласте песчаников кварцевые жилы лестничного типа с многочисленными раздувами, пережимам и системами оперяющих прожилков. Мощ-

ность отдельных жил в раздувах достигает 2 м, протяженность редко превышает 30 м. Содержания золота достигают в обогащенных рудных кустах сотен г/т, но в целом в пересчете на жильную массу обычно составляют не более 2 г/т. По падению золотоносные жилы прослежены до глубины более 200 м. Результаты технологических исследований прожилково-вкрапленных руд штокверкового типа,

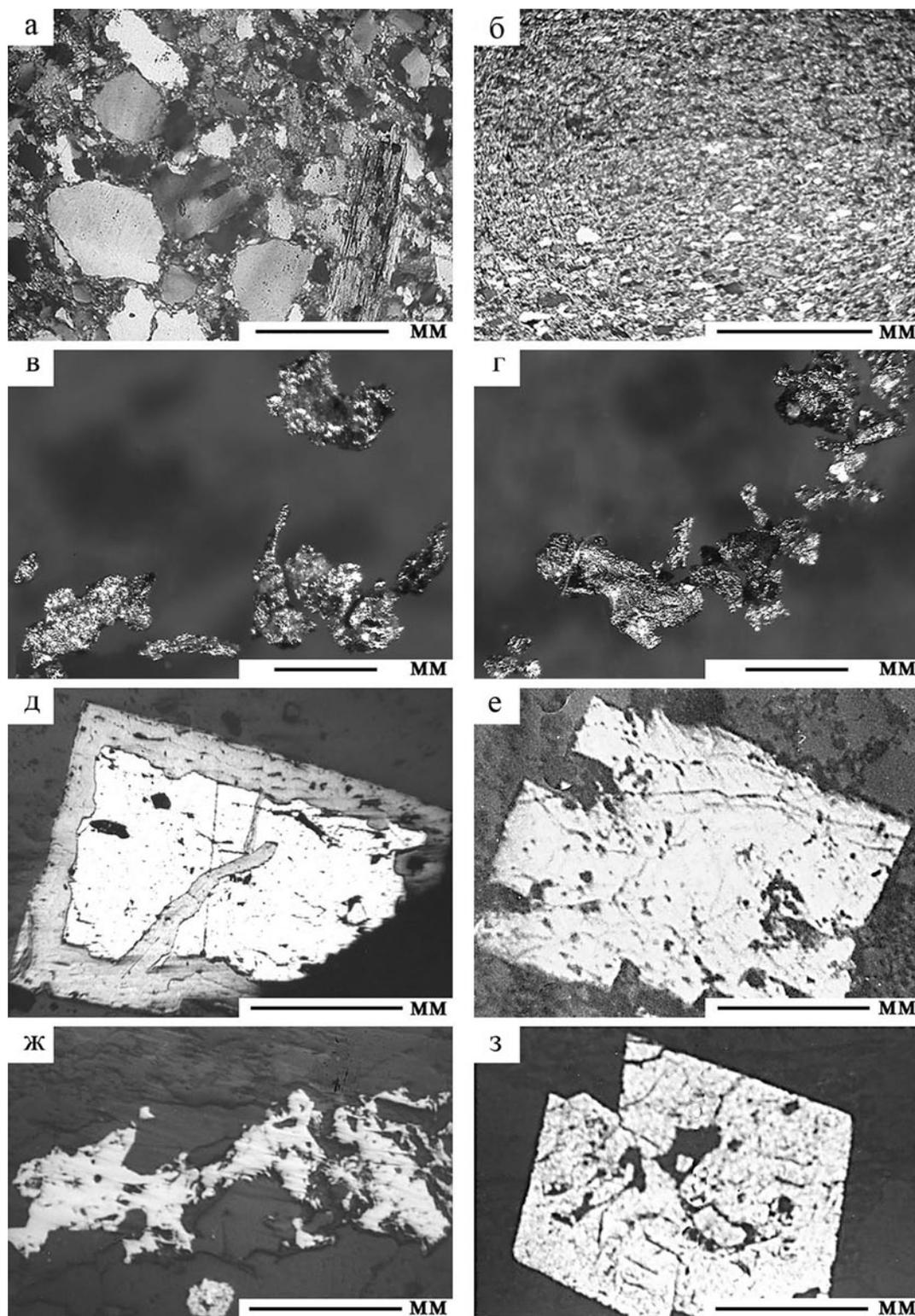


Рис. 2. Микрофотографии пород и минералов месторождения Улюк-Бар.

а – алевропесчаник; б – глинистый сланец; в, г – самородное золото из коры выветривания; д – пирит I с лимонитовой рубашкой; е – герсдорфит I; ж – халькопирит-пирроотиновый прожилок; з – сросток кристаллов арсенопирита.

Fig. 2. Microphotographs of rocks and minerals of the Ulyuk-Bar deposit.

а – siltstone with sandstone; б – clay shale; в, г – native gold from the weathering crust; д – pyrite I with a limonite shirt; е – hersdorffite I; ж – chalcopyrite-pyrrothite vein; з – the aggregate of crystals of arsenopyrite.

проведенные ЦНИГРИ, показали, что они относятся к малосульфидному золото-кварцевому типу со средним содержанием Au 1.7 г/т (Ковалев и др., 2013б).

Околорудные метасоматические преобразования выражены маломощными зонами кварц-серицит-карбонатных метасоматитов с сульфидной вкрапленностью.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Определение в образцах песчаников, алевролитов, сланцев и терригенно-карбонатных пород, отобранных из керна скв. № 18, пробуренной в пределах месторождения Улюк-Бар, концентраций петрогенных оксидов, As и $S_{\text{общ}}$ выполнено рентгенофлуоресцентным методом в ИГ УФИЦ РАН (г. Уфа) на спектрометре VRA-30 (“Карл Цейсс”, Германия) с использованием рентгеновской трубки с W-анодом (30 кВ, 40 мА). Пределы обнаружения для SiO_2 и Al_2O_3 составляли 0.1% (здесь и далее элементы в мас. %), TiO_2 , Fe_2O_3 , MnO, CaO, K_2O , P_2O_5 и $S_{\text{общ}}$ – 0.01, MgO – 0.2, As – 0.001.

Концентрации редких и рассеянных элементов (Li, Be, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Te, Cs, Ba, PЗЭ, Hf, Ta, W, Tl, Pb, Bi, Th, U) определены методом ICP-MS в ЦИИ ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург). Способ переведения проб в раствор осуществлялся или сплавлением с метаборатом лития и растворением сплава в азотной кислоте, или разложением с использованием концентрированных азотной, плавиковой и хлорной кислот. Методика выполнения измерений обеспечивает с вероятностью $P = 0.95$ получение результатов анализа с погрешностью, не превышающей значений, приведенных в ОСТ 41-08-214-04 для III категории точности. Расширенная неопределенность (extended uncertainty ($k = 2$)) не превышает заданной по формуле Horwitz для лабораторий чистой геохимии по результатам регулярного участия лаборатории в международной программе Geoanalytical proficiency testing (GeoPT). Анализ подготовленных растворов проводили на приборах “ELAN-6100 DRC” и “Agilent 7700” с использованием компьютерной программы обработки данных “TOTALQUANT”, включающей автоматический учет изотопных и молекулярных наложений на масс-спектральные аналитические линии определяемых элементов. Данный метод предусматривает использование многоэлементного калибровочного раствора одной концентрации, что обусловлено широким динамическим диапазоном прибора, а именно: принцип линейности зависимости аналитического сигнала от концентрации определяемых элементов выполняется в пределах 8 порядков единиц концентрации. Оперативный контроль внутрилабораторной (промежуточной) прецизионности по факторам “время” и “оператор”

и статистический контроль правильности выполнялись в соответствии с ОСТ 41-08-214-04 “Внутренний лабораторный контроль точности (правильности и прецизионности) результатов количественного химического анализа” и ОСТ 41-08-265-04 “Статистический контроль точности (правильности и прецизионности) результатов количественного химического анализа”.

Количественное определение содержания благородных металлов (Au, Pt, Pd, Rh, Ru, Ir) в 30 образцах из скв. № 18 и № 2 проведено в ЦИИ ВСЕГЕИ. Способ переведения проб в раствор осуществлялся посредством их разложения смесью концентрированных кислот (плавиковой, серной, фосфорной и щавелевой), сплавления остатка с пероксидом натрия, растворения сплава в хлороводородной кислоте с последующим анализом растворов методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Диапазоны концентраций элементов, определяемых в соответствии с данной методикой, соответствуют:

№ п.п.	Элемент	Диапазон, мг/кг	
		Минимум	Максимум
1	Au	0.002	50
2	Pt	0.002	10
3	Pd	0.002	50
4	Rh	0.002	5.0
5	Ru	0.002	2.0
6	Ir	0.002	1.0

Методика измерений обеспечивает с вероятностью $P = 0.95$ получение результатов анализа с точностью, соответствующей III категории по ОСТ 41-08-212-04. Способ разложения проб основан на частичном неокислительном разрушении смесью кислот, промывании, высушивании и озолении остатка, сплавлении его с пероксидом натрия и растворении сплава в хлороводородной кислоте. Принципы, заложенные в основу данной методики, обеспечивают ее универсальность по отношению к пробам различного состава. Анализ подготовленных растворов проводили на приборе “AGILENT 7700x” фирмы “Agilent Technologies”, США, с использованием компьютерной программы обработки данных количественного анализа, включающей автоматический учет изотопных и молекулярных наложений на масс-спектральные аналитические линии определяемых элементов. Данный метод предусматривает автоматическое построение градуировочных графиков по калибровочным растворам в интервале концентраций элементов 0.1–100 мкг/дм³. Количественное содержание каждого элемента вычисляется автоматически путем сравнения сигналов элементов (масс-спектров) рабочей пробы и калибровочной смеси. Контроль качества результатов выполнялся в соответствии с отраслевыми стандартами ОСТ 41-08-214-04 и ОСТ 41-08-265.

МИНЕРАЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ УЛЮК-БАР

Самородное золото, иногда в виде относительно крупных зерен, наблюдается в гнездах сульфидов, часто на их контактах, в интерстициях и в жильном кварце, в ксенолитах песчаников и сланцев, в зальбандах кварцевых жил. Размеры золотинок из коры выветривания, среди которых преобладают полностью высвобожденные дендриты, проволоочки, пластинки, колеблются в пределах от 0.05 до 1.0 мм. Более крупные золотины представлены комковато-неправильными губчатыми сростками, пластинками и дендритами (см. рис. 2в, г), часто с примазками и рубашками гидроксидов железа бурого цвета. Присутствуют также сростки золота с прозрачным бесцветным кварцем, лимонитом и кварц-лимонитовым агрегатом. Пробность Au составляет 850–960.

Среди сульфидных минералов обнаружены пирит, пирротин, герсдорфит, халькопирит, арсенопирит и галенит. Золотоносные сульфиды встречаются преимущественно в песчаниках, будучи образованными в результате замещения ранних “безрудных” пиритовых генераций арсенопиритом и его ассоциацией с мышьяковистым пиритом при движении флюидов ($T = 250\text{--}450^\circ\text{C}$) по зонам разломов (Мичурин и др., 2018). Этот процесс отражается в зональном распределении мышьяковистого пирита и содержания мышьяка в породах. Доля пирита с проводимостью r -типа, обусловленной примесью As, увеличивается с глубиной, а зоны развития и высокого содержания мышьяка в породах контролируются разрывными нарушениями.

Пирит представлен тремя разновидностями (Ковалев и др., 2013а). Пирит I ($S - 52.30$, $Fe - 45.64$, $As - 0.06$, $Ni - 0.12$, $Co - 0.56$, $Au - 5$; здесь и далее содержание Au в г/т, концентрации остальных компонентов в мас. %) встречается в виде кристаллов кубического габитуса с многочисленными включениями породообразующих и жильных минералов (см. рис. 2д). Пирит II ($S - 51.92\text{--}52.25$, $Fe - 44.93\text{--}45.86$, $As - 0.6\text{--}1.31$, $Ni - 0.04\text{--}0.71$, $Co - 0.03\text{--}0.06$, $Au - 3\text{--}12$) образует агрегаты и единичные выделения кубической формы с чистой поверхностью, иногда с включениями халькопирита и редко – пирротина. Как правило, пирит II ассоциирует с герсдорфитом, давая сростки с ровной границей срастания. Пирит III ($S - 52.70\text{--}52.92$, $Fe - 45.83\text{--}46.07$, $As - 0.00$, $Ni - 0.01\text{--}0.02$, $Co - 0.04\text{--}0.05$, $Au - 15\text{--}21$) – это редко встречающиеся мелкие кристаллы различной формы (кубические, гексаоктаэдрические и др.), часто в ассоциации с халькопиритом, галенитом и пирротинном, заключенными в жильных минералах – кальците и кварце. В его составе содержатся максимальные количества золота.

Герсдорфит представлен двумя разновидностями, первая из которых образует либо отдельные кристаллы октаэдрической формы размером 0.01 мм, либо находится в ассоциации с пиритом II и пирротинном (см. рис. 2е). Герсдорфит I характеризуется высоким содержанием железа, которое изоморфно замещает никель ($S - 19.63\text{--}20.10$, $Fe - 10.42\text{--}14.10$, $As - 44.8\text{--}45.81$, $Ni - 20.29\text{--}24.09$, $Co - 0.02\text{--}0.38$). Вторая разновидность – маложелезистый герсдорфит – образует мелкие кристаллы, находящиеся в кварце или других жильных минералах ($S - 19.37\text{--}19.40$, $Fe - 1.41\text{--}4.88$, $As - 44.37\text{--}44.56$, $Ni - 29.34\text{--}33.56$, $Co - 0.17\text{--}0.27$).

Пирротин ($S - 37.49\text{--}38.81$, $Fe - 54.97\text{--}58.11$, $As - 0\text{--}0.05$, $Ni - 1.22\text{--}3.37$, $Co - 0.03\text{--}0.04$, $Au - 0\text{--}5$) практически всегда ассоциирует с халькопиритом и, как правило, образует вростки в пирите II и герсдорфите I. Размер его зерен не более 0.05 мм, реже встречаются выделения (до 1 мм) сложной формы, вытянутые согласно слоистости пород (см. рис. 2ж).

Халькопирит, как и герсдорфит, представлен двумя разновидностями, первая из которых образует микропрожилки совместно с пирротинном и/или пиритом (см. рис. 2ж), а вторая представлена мелкими включениями в пирите или герсдорфите. Халькопирит II наблюдается в виде мелкой сыпи или микропрожилков в жильных кальците и кварце. По химическому составу обе разновидности сходны ($S - 34.46$, $Fe - 29.40$, $Cu - 33.76$, $Ni - 0.02$).

Арсенопирит представлен коротко- или длиннопризматическими и ромбовидными кристаллами. Как правило, он не образует прожилковых выделений, а встречается в виде отдельных кристаллов либо их сростков (см. рис. 2з). Примесь никеля в его составе может служить косвенным признаком псевдоморфного замещения герсдорфита арсенопиритом ($S - 20.85$, $Fe - 34.76$, $As - 44.75$, $Ni - 0.15$, $Co - 0.08\text{--}0.38$).

Галенит наблюдается в виде редких зерен размером до 0.01 мм, раздробленных по спайности. Более мелкие ксеноморфные зерна в ассоциации с пиритом III фиксируются в кварце. В составе галенита отмечается существенная примесь Bi ($S - 13.46$, $Bi - 1.16$, $Pb - 85.14$, $Au - 16$).

Кроме того, в породах обнаружены магнетит, гематит, гетит, ярозит, молибденит, алтаит, гидроксиды Mn, ильменит и рутил.

ГЕОХИМИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ РУДОНОСНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ МЕСТОРОЖДЕНИЯ УЛЮК-БАР

При сравнительном анализе содержаний РЗЭ и благородных металлов в различных типах рудоносных пород месторождения Улюк-Бар используются материалы по отложениям большеинзерской свиты из района д. Бзяк, которые являются север-

ным продолжением Исмакаевская рудной зоны, приуроченной к Караташскому разлому. Указанный район расположен примерно в 15 км к северу от рудопроявления Кургашлинское (см. рис. 1). Для отложений характерны интенсивная изоклинальная складчатость, кливажирование пород и развитие многочисленных трещин отрыва и скалывания; широко развиты прожилковое окварцевание, карбонатизация и серицитизация. В песчаниках и карбонатно-глинистых сланцах присутствует обильная сульфидная минерализация, представленная пиритом, пирротинном и халькопиритом. В ассоциации с сульфидами обнаружен кобальтин, торит, торианит, ураноторит и уранинит (Мичурин и др., 2010; Ковалев и др., 2017). В 2 км восточнее д. Бзяк среди песчаников большеинзерской свиты расположена кварцевая жила, мощностью около 8.5 м, в пробах-протоколках из зоны контакта которой были обнаружены единичные знаки мелкого золота (Мичурин и др., 2009), а по результатам атомно-абсорбционного анализа в зальбандах жилы содержание Au составляет ≈ 0.5 г/т.

Для сравнительного анализа редкоземельной геохимической специализации терригенных отложений месторождения Улюк-Бар, кроме авторских материалов, использованы опубликованные ранее (Маслов и др., 2008) данные о распределении РЗЭ в фоновых¹ глинистых сланцах ($n = 17$) и песчаниках ($n = 14$) типового разреза большеинзерской свиты по р. Бол. Инзер.

Сумма РЗЭ в рудоносных отложениях месторождения Улюк-Бар колеблется от 43.68 до 259.64 г/т (табл. 1), составляя в среднем 127.50 г/т, что несколько ниже, чем в фоновых глинистых сланцах большеинзерской свиты, но значительно выше, чем в фоновых песчаниках (соответственно 154.20 и 83.70 г/т). В породах месторождения преобладают лантаноиды легкой группы: величина La/Lu изменяется от 57.70 до 217.85 (среднее – 112.44), а Ce/Yb – от 17.39 до 88.33 (среднее – 35.59), что в целом близко к значениям их в фоновых глинистых сланцах (соответственно 142.67 и 45.87) и песчаниках (соответственно 126.08 и 39.11) большеинзерской свиты.

На графиках содержаний РЗЭ в рудоносных породах месторождения Улюк-Бар, а также в фоновых глинистых сланцах и песчаниках большеинзерской свиты, нормированных по верхней континентальной коре (McDonough, Sun, 1995) (рис. 3), при близости трендов друг к другу и к среднему составу коры между рассматриваемыми порода-

ми наблюдаются довольно существенные различия. В частности, рудоносные породы месторождения Улюк-Бар по отношению к фоновым сланцам и песчаникам большеинзерской свиты обогащены тяжелыми РЗЭ (ТРЗЭ, их среднее содержание составляет 11.21 г/т при разбросе минимальных и максимальных значений от 5.64 до 24.93 г/т). В глинистых сланцах большеинзерской свиты указанные параметры составляют соответственно 9.01, 4.98 и 14.95 г/т, а в в песчаниках – 6.27, 4.19 и 10.56 г/т, тогда как ТРЗЭ_{ср} в земной коре равно 9.05 г/т (McDonough, Sun, 1995). Вероятнее всего, это свидетельствует о наличии в рудоносных отложениях месторождения Улюк-Бар ксенотима, описанного нами ранее в различных структурно-вещественных комплексах Башкирского мегантиклинория (Ковалев и др., 2017).

Величина Eu/Eu* в рудоносных породах изменяется в целом в пределах от 0.53 до 0.92 и в только в одном случае составляет 1.46 (см. табл. 1), что свидетельствует о преобладающем нахождении европия в виде Eu³⁺ и служит показателем фракционирования РЗЭ в низкотемпературной обстановке при участии окисленного флюида (Вау, 1991). Значения Ce/Ce* в этих же отложениях меняются от 0.94 до 1.03 (см. табл. 1), что может служить доказательством некоторой стабильности окислительно-восстановительных условий на заключительных стадиях метаморфизма пород месторождения Улюк-Бар.

Ввиду того, что редкоземельная минерализация в Башкирском мегантиклинории часто сопровождается уран-ториевой (Ковалев и др., 2013а; 2017), представляется интересным рассмотреть вариации содержаний U и Th. В рудоносных породах месторождения Улюк-Бар U_{ср} составляет 2.20 (0.60–5.12), а Th_{ср} – 8.14 (1.56–15.3) г/т. В фоновых глинистых сланцах большеинзерской свиты величина U_{ср} равна 2.28 (0.74–3.15) г/т, что близко к значениям, характерным для рудоносных пород месторождения Улюк-Бар, в то время как Th_{ср} составляет 12.27 (1.09–20.59) г/т. В фоновых песчаниках большеинзерской свиты U_{ср} равно 1.08 (0.63–2.86) г/т, а содержание Th варьирует от 3.75 до 14.55 (среднее 6.33) г/т, то есть меньше, чем в рудоносных породах месторождения Улюк-Бар и фоновых глинистых сланцах большеинзерской свиты.

На диаграмме Th–U (рис. 4) по углу наклона трендов, характеризующих описываемые разновидности пород, видно, что для фоновых сланцев и песчаников большеинзерской свиты присуща ториевая специализация, в то время как для рудоносных отложений месторождения Улюк-Бар – урановая. Результаты исследования U–Th минерализации в различных структурно-вещественных комплексах Башкирского мегантиклинория (Ковалев и др., 2016) позволяют считать, что собственные

¹ Под “фоновыми” породами мы понимаем относительно слабо измененные постседиментационными, преимущественно изохимическими, процессами (катагенез и начальные этапы метагенеза) песчаники, алевролиты и глинистые сланцы. В данном случае это породы большеинзерской свиты вне пределов месторождения Улюк-Бар.

Таблица 1. Содержание редких элементов в терригенных отложениях месторождения Улюк-Бар, г/т, TiO₂ мас. %**Table 1.** The content of rare elements in terrigenous deposits of the Ulyuk-Bar deposit, ppm, TiO₂ wt %

№ п.п.	№ обр.	Be	TiO ₂	V	Cr	Rb	Sr	Y
1	М462	<1.0	0.2	22.7	26.5	15.0	162.0	28.5
2	М464	<1.0	0.2	22.3	27.2	23.2	157.0	11.4
3	М465	<1.0	0.4	38.5	44.1	39.4	53.7	12.7
4	М466	<1.0	0.3	25.1	34.5	31.3	80.4	8.1
5	М467	<1.0	0.2	19.7	34.0	22.0	39.5	9.8
6	М468	1.0	0.2	23.1	34.1	40.2	77.4	8.2
7	М469	<1.0	0.2	23.4	33.3	22.6	71.5	18.8
8	М488	<1.0	0.3	29.2	159.0	26.3	69.8	6.9
9	М487	<1.0	0.2	26.7	35.7	15.9	33.8	8.6
10	М485	1.4	0.5	80.8	120.0	55.6	21.8	12.1
11	М482	1.6	0.5	62.7	62.2	99.1	231.0	24.0
12	М483	<1.0	0.5	50.7	191.0	65.3	22.0	11.1
13	М480	<1.0	0.1	9.63	22.4	5.6	135.0	11.8
14	М481	<1.0	0.2	15.9	118.0	9.9	126.0	15.3
15	М74	<1.0	0.4	36.9	38.2	37.4	90.2	12.9
16	М75	<1.0	0.4	42.3	41.3	42.1	74.6	7.1
17	М77	<1.0	0.1	18.0	12.7	11.9	794.0	17.1
18	М78	2.7	0.7	100.0	71.9	205.0	38.5	17.3
19	М79	1.1	0.3	41.0	34.6	74.0	307.0	26.7
20	М80	2.1	0.6	90.5	62.8	181.0	136.0	13.8
21	М82	1.8	0.6	96.5	62.9	188.0	37.9	9.8
22	М84	2.0	0.6	82.0	59.6	149.0	51.0	15.6
23	М479	<1.0	0.2	16.3	93.0	10.3	525.0	42.2
24	М85	2.4	0.6	92.8	63.0	167.0	187.0	24.0
25	М86	<1.0	0.4	46.6	43.8	31.8	110.0	16.6
26	М493	<1.0	0.5	62.8	102.0	113.0	26.1	18.2
27	М494	2.1	0.7	99.1	114.0	211.0	28.4	22.7
28	М88	1.5	0.5	71.3	56.5	127.0	25.8	20.9
29	М89	2.3	0.7	113.0	71.2	237.0	25.4	22.5
30	М90	3.0	0.7	115.0	71.8	238.0	33.0	12.9
№ п.п.	№ обр.	Zr	Nb	Mo	Sn	Cs	La	Ce
1	М462	139.0	3.88	<0.6	0.92	0.56	22.8	46.6
2	М464	142.0	3.92	<0.6	0.93	1.0	23.4	44.8
3	М465	211.0	6.25	<0.6	1.34	1.48	25.6	49.3
4	М466	236.0	4.9	<0.6	1.3	1.2	18.3	35.3
5	М467	138.0	3.46	<0.6	1.47	0.86	8.79	16.7
6	М468	220.0	4.2	<0.6	1.15	1.76	17.8	34.3
7	М469	161.0	3.78	<0.6	1.04	0.86	16.2	35.3
8	М488	190.0	4.59	<0.6	1.34	1.1	19.1	36.4
9	М487	178.0	3.96	<0.6	1.12	0.62	12.8	24.5
10	М485	338.0	8.26	<0.6	2.04	2.1	35.3	67.3
11	М482	194.0	11.2	0.79	1.72	3.55	35.6	70.6
12	М483	188.0	10.6	<0.6	1.56	1.93	31.7	58.4
13	М480	115.0	1.92	<0.6	0.9	0.19	11.2	22.2
14	М481	101.0	3.21	<0.6	0.98	0.27	13.7	28.8
15	М74	236.0	7.06	<0.6	1.2	1.25	14.5	29.3
16	М75	146.0	6.95	<0.6	1.38	1.26	14.5	27.8
17	М77	71.2	2.32	3.13	0.91	0.35	14.9	29.3
18	М78	162.0	13.9	<0.6	2.64	5.98	61	116
19	М79	91.8	6.33	<0.6	1.09	2.16	37.2	71.5
20	М80	134.0	12.4	0.64	2.45	5.12	37	71.2
21	М82	140.0	11.9	1.16	2.18	5.58	58	106
22	М84	135.0	11.8	0.87	2.17	4.17	30.6	58.5
23	М479	79.6	3.49	<0.6	0.75	0.28	27.7	57.6
24	М85	166.0	12.9	1.32	1.85	4.49	35.2	69.0
25	М86	170.0	7.4	<0.6	1.09	0.96	18.8	38.2
26	М493	178.0	10.6	0.61	1.74	2.75	38.4	73.9
27	М494	137.0	13.4	0.65	2.62	4.77	38.3	74.5
28	М88	158.0	11.4	<0.6	1.72	3.39	37.7	73.1
29	М89	159.0	14.9	1.28	2.61	6.13	52.9	99.9
30	М90	158.0	15.2	1.73	2.64	6.18	34.2	66.0

Таблица 1. Продолжение

Table 1. Continuation

№ п.п.	№ обр.	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy
1	м462	5.71	23.2	4.66	0.96	4.23	0.73	4.69
2	м464	5.16	19.0	3.33	0.82	2.6	0.37	2.18
3	м465	5.63	20.9	3.54	0.77	3.05	0.41	2.37
4	м466	3.91	14.8	2.56	0.55	2.16	0.28	1.48
5	м467	1.96	7.72	1.56	0.49	1.72	0.3	1.87
6	м468	3.82	14.2	2.5	0.52	2.1	0.27	1.54
7	м469	4.38	18.9	4.05	0.67	3.69	0.53	3.09
8	м488	3.95	15.0	2.45	0.48	1.98	0.25	1.39
9	м487	2.76	10.3	1.97	0.36	1.75	0.26	1.51
10	м485	7.64	27.4	4.42	0.78	3.21	0.41	2.32
11	м482	7.97	30.6	5.73	1.37	5.05	0.76	4.48
12	м483	6.21	20.5	3.35	0.72	2.58	0.35	1.94
13	м480	2.72	10.6	2.48	0.53	2.44	0.38	2.04
14	м481	3.54	14.4	3.29	0.58	3.18	0.45	2.63
15	м74	3.59	13.4	2.59	0.48	2.45	0.36	2.11
16	м75	3.16	11.4	2.22	0.47	1.87	0.23	1.26
17	м77	3.34	12.8	2.46	1.22	2.66	0.4	2.36
18	м78	13.1	46.2	7.53	1.42	5.54	0.68	3.33
19	м79	8.19	29.7	5.64	1.29	5.06	0.83	4.75
20	м80	8.04	28.3	4.69	1.2	3.62	0.48	2.61
21	м82	11.4	38.8	6.37	1.36	4.21	0.47	2.15
22	м84	6.37	22.3	3.6	0.87	2.93	0.41	2.49
23	м479	7.07	28.7	6.6	1.51	7.05	1.18	7.24
24	м85	7.88	28.7	5.2	1.29	4.53	0.7	4.13
25	м86	4.49	17.5	3.75	0.7	3.52	0.54	3.07
26	м493	8.24	29.6	5.1	1.01	3.96	0.57	3.3
27	м494	8.63	30.7	5.15	1.16	4.14	0.65	4.04
28	м88	8.25	29.8	5.27	1.06	4.42	0.63	3.9
29	м89	11.3	39.0	6.38	1.37	4.99	0.69	4.18
30	м90	7.26	25.8	4.36	0.89	3.31	0.44	2.29
№ п.п.	№ обр.	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	
1	м462	0.96	2.81	0.39	2.61	0.38	3.8	
2	м464	0.43	1.46	0.22	1.68	0.26	4.13	
3	м465	0.45	1.31	0.21	1.43	0.21	6.15	
4	м466	0.3	0.93	0.15	0.98	0.17	6.63	
5	м467	0.33	0.99	0.15	0.96	0.14	3.81	
6	м468	0.29	0.83	0.14	0.87	0.15	5.76	
7	м469	0.65	1.69	0.24	1.42	0.19	4.41	
8	м488	0.26	0.79	0.12	0.83	0.15	5.26	
9	м487	0.3	0.94	0.14	0.93	0.14	4.83	
10	м485	0.43	1.36	0.2	1.33	0.19	9.18	
11	м482	0.83	2.42	0.36	2.51	0.42	5.77	
12	м483	0.41	1.32	0.2	1.36	0.21	5.54	
13	м480	0.38	1.16	0.15	1.0	0.16	3.18	
14	м481	0.48	1.39	0.19	1.19	0.17	2.98	
15	м74	0.45	1.35	0.18	1.25	0.21	6.56	
16	м75	0.26	0.84	0.14	0.89	0.15	4.36	
17	м77	0.46	1.36	0.18	1.14	0.15	2.0	
18	м78	0.64	1.82	0.27	1.83	0.28	4.82	
19	м79	0.92	2.76	0.39	2.58	0.41	2.69	
20	м80	0.49	1.55	0.23	1.55	0.25	3.87	
21	м82	0.36	1.11	0.16	1.2	0.21	3.96	
22	м84	0.52	1.6	0.25	1.64	0.27	3.89	
23	м479	1.35	3.83	0.52	3.28	0.48	2.1	
24	м85	0.78	2.36	0.34	2.2	0.32	5.01	
25	м86	0.56	1.64	0.22	1.43	0.22	4.68	
26	м493	0.66	1.97	0.29	1.91	0.27	5.06	
27	м494	0.82	2.6	0.37	2.37	0.34	3.93	
28	м88	0.73	2.26	0.31	2.02	0.31	4.27	
29	м89	0.81	2.55	0.36	2.48	0.38	4.61	
30	м90	0.46	1.42	0.24	1.71	0.26	4.52	

Таблица 1. Окончание

Table 1. Ending

№ п.п.	№ обр.	Ta	W	Th	U	Eu/Eu*	Ce/Ce*
1	m462	0.33	<0.5	3.94	1.16	0.664	1.0
2	m464	0.27	<0.5	5.28	1.88	0.857	0.979
3	m465	0.49	0.65	6.68	1.55	0.720	0.988
4	m466	0.38	1.07	7.2	1.36	0.719	0.988
5	m467	0.28	0.71	1.56	1.23	0.919	0.948
6	m468	0.33	1.09	5.89	1.93	0.697	0.987
7	m469	0.29	0.61	4.35	1.01	0.532	1.033
8	m488	0.34	2.44	6.24	1.02	0.669	0.984
9	m487	0.3	0.87	5.38	0.88	0.596	0.971
10	m485	0.69	1.11	11.2	1.52	0.636	0.988
11	m482	0.85	1.21	10.6	3.87	0.782	1.0
12	m483	0.81	1.25	10.9	5.12	0.752	0.968
13	m480	0.14	<0.5	2.32	0.6	0.662	0.959
14	m481	0.23	0.52	3.42	0.86	0.551	1.0
15	m74	0.53	1.01	6.66	1.72	0.585	1.0
16	m75	0.54	0.9	5.94	1.51	0.709	0.973
17	m77	0.18	<0.5	2.51	1.88	1.466	0.989
18	m78	1.07	1.56	14.1	2.88	0.675	0.986
19	m79	0.47	0.87	6.15	1.56	0.742	0.976
20	m80	0.93	1.38	12.5	3.3	0.895	0.996
21	m82	0.95	1.26	12.2	3.28	0.807	0.957
22	m84	0.93	1.32	11.5	2.8	0.823	0.995
23	m479	0.26	<0.5	3.97	1.55	0.68	0.994
24	m85	0.98	1.93	12.2	3.78	0.817	0.998
25	m86	0.56	0.77	6.2	1.66	0.592	0.997
26	m493	0.82	1.09	10.6	2.67	0.691	0.991
27	m494	1.07	1.43	13.7	2.98	0.772	1.0
28	m88	0.87	1.11	10.7	2.41	0.675	0.993
29	m89	1.2	1.54	14.9	3.69	0.746	0.981
30	m90	1.16	1.48	15.3	4.31	0.721	0.997

Примечание. Eu/Eu* рассчитывалось по формуле $Eu/Eu^* = Eu_n/\sqrt{(Sm_n \times Gd_n)}$, Ce/Ce* рассчитывалось по формуле $Ce/Ce^* = Ce_n/((2La_n + Sm_n)/3)$. Значения нормированы по хондриту согласно (McDonough, Sun, 1995).

Note. Eu/Eu* was calculated by the formula $Eu/Eu^* = Eu_n/\sqrt{(Sm_n \times Gd_n)}$, Ce/Ce* was calculated by the formula $Ce/Ce^* = Ce_n/((2La_n + Sm_n)/3)$. Values are normalized to chondritis according to (McDonough, Sun, 1995).

минералы U появляются в гидротермально измененных породах, а генезис минералов Th более разнообразен. Исходя из сказанного можно сделать вывод о том, что рудоносные отложения в пределах месторождения Улюк-Бар подверглись гидротермальной проработке, тогда как фоновые глинистые сланцы и песчаники большеинзерской свиты вне месторождения подобных изменений не испытали.

Расчет возраста минералов тория и урана по их химическому составу из месторождения Улюк-Бар и из отложений большеинзерской свиты в районе д. Бзяк на северном продолжении Исмакаевской рудной зоны по методике (Bowles, 2002) дает два значения: по ураниниту – 922 ± 62 млн лет, по ториевым минералам – около 600 млн лет (Мичурин и др., 2010; Мичурин, Шарипова, 2011). Это согласуется с данными изотопных исследований по валовым образцам пород Rb-Sr (996 ± 26 млн лет) и K-Ar (676–706 млн лет) методами и галенитам Pb-Pb методом (950 млн лет), что указывает на два этапа формирования месторождения Улюк-Бар,

первый из которых происходил в связи с тектоно-термальной активизацией на границе среднего и позднего рифея, а второй – около 600 млн лет назад (Мичурин и др., 2018).

Благороднометалльная геохимическая специализация рудоносных отложений месторождения Улюк-Бар заключается в следующем: содержания Au в проанализированных пробах варьируют от 0.001 до 0.55, Pt – от 0.001 до 0.0067, Pd – от 0.001 до 0.011 г/т (табл. 2). Количество Ir и Ru во всех разновидностях пород меньше предела обнаружения (0.002 г/т). Родий установлен в одном образце (0.0025 г/т). Отношение Pt/Pd изменяется от 0.41 до 1.75, при этом практически в половине исследованных нами образцов $Pt/Pd > 1$. Ранее аналогичные вариации Pt/Pd были получены только для терригенных отложений Шатакского комплекса (Ковалев и др., 2016). Величина отношения $\Sigma ЭПГ/Au$ также подвержена значительным колебаниям (от 0.01 до 6.61), что свидетельствует о перераспределении золота в процессе рудообразования.

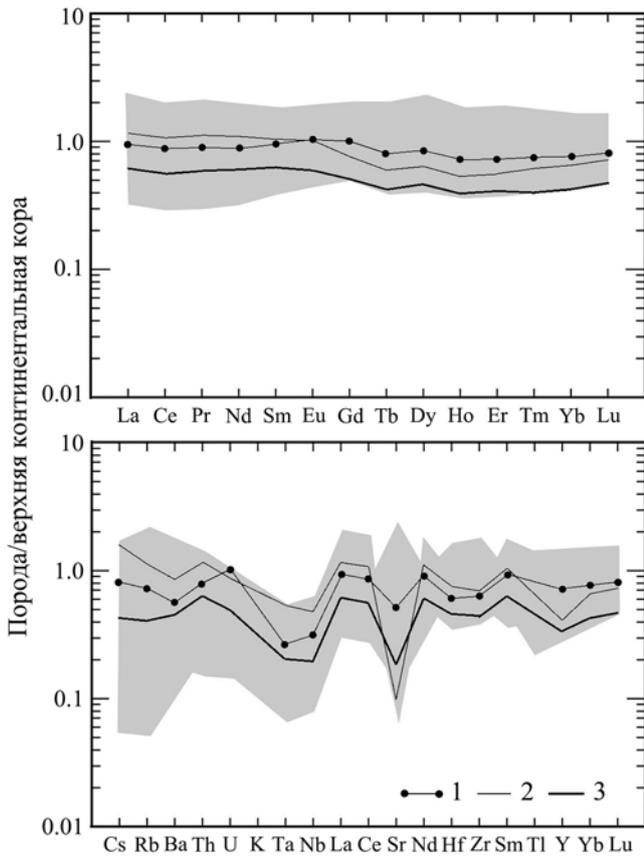


Рис. 3. Графики нормализованных по верхней континентальной коре (McDonough, Sun, 1995) средних содержаний РЗЭ и элементов-примесей в рудоносных отложениях месторождения Улюк-Бар (1), а также в фоновых глинистых сланцах (2) и песчаниках (3) большеинзерской свиты.

Серое поле – разброс значений в рудоносных отложениях месторождения Улюк-Бар.

Fig. 3. Graphs normalized by the upper continental crust according to (McDonough and Sun, 1995) the average REE and trace elements contents in ore-bearing deposits of the Ulyuk-Bar deposit (1), as well as in background shales (2) and sandstones (3) of the Bolshoi Inzer Formation.

The gray field is the scatter of values in the ore-bearing deposits of the Ulyuk-Bar deposit.

Анализ корреляционных связей благородных металлов с петрогенными и редкими элементами (табл. 3) показывает, что в рудоносных породах месторождения Улюк-Бар Au, Pt и Pd концентрируются в разных минералах. Содержания этих элементов между собой имеют нулевые или крайне незначительные коэффициенты корреляции, наибольший из которых (0.16) отмечается для пары Au–Pt. Золото имеет сильную положительную корреляцию ($r = 0.996$) только с As и, следовательно, концентратором Au являются минералы мышьяка,

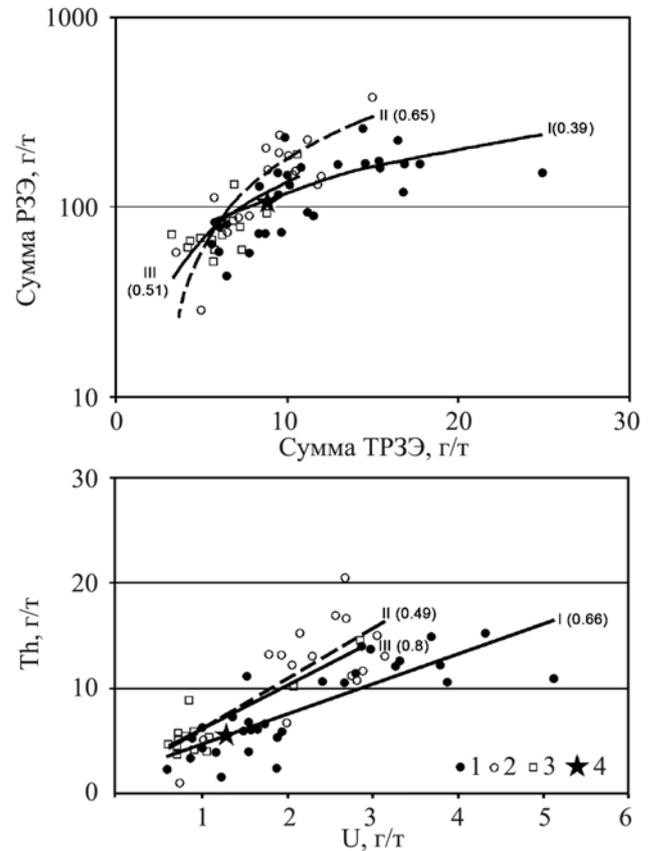


Рис. 4. Диаграммы Σ РЗЭ– Σ ТРЗЭ и Th–U для рудоносных пород месторождения Улюк-Бар (1), а также фоновых глинистых сланцев (2) и песчаников (3) большеинзерской свиты. Среднее содержание РЗЭ, Th и U (4) в земной коре по (McDonough, Sun, 1995).

Линии трендов: I – терригенные породы месторождения Улюк-Бар, II – глинистые сланцы большеинзерской свиты, III – песчаники той же свиты. В скобках величина достоверности аппроксимации.

Fig. 4. Σ REE– Σ HREE and Th–U diagrams for ore-bearing rocks of the Ulyuk-Bar deposit (1), as well as background shale (2) and sandstones (3) of the Bolshoi Inzer Formation. The average content of REE, Th, and U (4) in the Earth's crust according to (McDonough and Sun, 1995).

Lines of trends: I – terrigenous rocks of the Ulyuk-Bar deposit, II – clay shales of the Bolshoi Inzer Formation, III – sandstones of the same Formation. In parentheses, the approximation confidence value.

в первую очередь арсенопирит и мышьяковистый пирит. Этот факт согласуется с данными ранее проведенных исследований (Мичурин и др., 2009; Мичурин и др., 2018) и в очередной раз подтверждает, что геохимическая связь Au с As имеет наибольшее значение для поисков золота и выявления перспективных рудоносных участков в рифейских отложениях Башкирского мегантиклинория. Отсут-

Таблица 2. Содержание благородных металлов в терригенных отложениях и магматических породах месторождения Улюк-Бар, г/т**Table 2.** The content of precious metals in terrigenous deposits and igneous rocks of the Ulyuk-Bar deposit, ppm

№ п.п.	№ обр.	Ir	Ru	Rh	Pt	Pd	Au
1	м462	<0.002	<0.002	<0.002	0.004	0.006	0.003
2	м464	<0.002	<0.002	<0.002	0.006	0.004	0.004
3	м465	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.004	0.007
4	м466	<0.002	<0.002	<0.002	0.004	<0.002	0.006
5	м467	<0.002	<0.002	<0.002	0.005	0.004	0.013
6	м468	<0.002	<0.002	<0.002	0.007	0.004	0.550
7	м469	<0.002	<0.002	<0.002	0.007	0.004	0.009
8	м488	<0.002	<0.002	<0.002	0.002	<0.002	0.020
9	м487	<0.002	<0.002	<0.002	0.004	<0.002	0.003
10	м485	<0.002	<0.002	<0.002	0.002	<0.002	0.005
11	м482	<0.002	<0.002	<0.002	0.004	0.006	0.007
12	м483	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.018
13	м480	<0.002	<0.002	<0.002	0.002	0.003	0.015
14	м481	<0.002	<0.002	<0.002	0.004	0.005	0.015
15	м74	<0.002	<0.002	<0.002	0.006	0.011	0.003
16	м75	<0.002	<0.002	<0.002	0.006	0.003	0.004
17	м77	<0.002	<0.002	0.0025	<0.002	0.011	<0.002
18	м78	<0.002	<0.002	<0.002	0.005	0.005	0.004
19	м79	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.010	0.004
20	м80	<0.002	<0.002	<0.002	0.003	0.007	0.003
21	м82	<0.002	<0.002	<0.002	0.003	0.004	0.005
22	м84	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.004	0.006
23	м479	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.009	0.010
24	м85	<0.002	<0.002	<0.002	0.004	0.006	0.002
25	м86	<0.002	<0.002	<0.002	0.005	0.006	0.004
26	м493	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.003	0.016
27	м494	<0.002	<0.002	<0.002	0.005	<0.002	0.003
28	м88	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.003	0.004
29	м89	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.002	0.016
30	м90	<0.002	<0.002	<0.002	0.002	0.002	0.005
31	09/9	<0.002	<0.002	0.002	0.014	0.021	0.006
32	09/10	<0.002	<0.002	0.002	0.010	0.015	0.004

Примечание. № 1–30 – терригенные породы месторождения; № 31, 32 – долериты.

Note. No. 1–30 – terrigenous rocks of the field; No. 31, 32 – dolerites.

стве связи Au с S ($r = 0.11$) объясняется, по всей видимости, тем, что количество ранних незолотоносных генераций сульфидов в породах, вскрытых скв. № 18, превалирует.

Между Pt, SiO₂ и Na₂O корреляция положительная умеренная или слабая (соответственно $r = 0.41$ и 0.32); таким образом, платина, возможно, частично связана с процессами окремнения и альбитизации пород. Pd обнаруживает наиболее значимые коэффициенты корреляции с CaO (0.73), Sr (0.72), MnO (0.63) и MgO (0.42), что свидетельствует о его связи с жильными карбонатными минералами, в первую очередь с кальцитом, который, по сравнению с доломитом, содержит более высокие концентрации Sr и Mn. Следует отметить также и то, что Pd – единственный элемент из платиновой группы, который имеет положительные слабые и умеренные коэффициенты корреляции (0.30–0.41) со всеми

ТРЗЭ, а также иттрием ($r = 0.46$). Вероятно, Pd, помимо кальцита, частично связан с редкоземельной (ксенотимовой) минерализацией.

Из анализа диаграммы нормированных по континентальной коре (Wedepohl, 1995) содержаний ЭПГ и Au (рис. 5а) следует, что: 1) содержания благородных металлов в рудоносных породах месторождения Улюк-Бар превышают их количество в земной коре в 8–10 раз; 2) тренды, характеризующие распределение благородных металлов в рудоносных породах месторождения Улюк-Бар и породах из северного продолжения Исмакаевской рудной зоны, практически полностью идентичны. Это позволяет предполагать единый процесс формирования благороднометалльной специализации пород в пространственно разобщенных частях рудной зоны.

Несмотря на то что родий установлен только в одном образце, его присутствие в породах место-

Таблица 3. Коэффициенты корреляции Au, Pt, Pd с петрогенными оксидами и редкими элементами в терригенных породах месторождения Улюк-Бар (скв. № 18)

Table 3. Correlation coefficients of Au, Pt, Pd with petrogenic oxides and trace elements in terrigenous rocks of the Ulyuk-Bar deposit (well No. 18)

Элемент	Au	Pt	Pd	Элемент	Au	Pt	Pd
SiO ₂	0.17	0.41	-0.59	Nb	-0.18	-0.23	-0.25
TiO ₂	-0.18	-0.21	-0.36	Mo	-0.13	-0.30	0.25
Al ₂ O ₃	-0.15	-0.22	-0.33	Sn	-0.13	-0.20	-0.39
Fe ₂ O ₃	-0.12	-0.23	-0.32	Cs	-0.07	-0.23	-0.22
MnO	-0.06	-0.10	0.63	La	-0.15	-0.44	-0.15
MgO	-0.18	-0.38	0.42	Ce	-0.16	-0.44	-0.12
CaO	-0.06	-0.17	0.73	Pr	-0.17	-0.43	-0.08
Na ₂ O	-0.08	0.32	0.00	Nd	-0.18	-0.42	-0.03
K ₂ O	-0.11	-0.23	-0.23	Sm	-0.20	-0.39	0.13
P ₂ O ₅	0.04	0.15	-0.01	Eu	-0.22	-0.43	0.35
S _{общ}	0.11	-0.30	-0.05	Gd	-0.20	-0.37	0.34
As	0.99	0.20	-0.07	Tb	-0.21	-0.31	0.41
Be	0.03	-0.20	-0.13	Dy	-0.20	-0.28	0.40
V	-0.18	-0.24	-0.26	Ho	-0.20	-0.28	0.40
Cr	-0.11	-0.30	-0.42	Er	-0.23	-0.28	0.36
Rb	-0.11	-0.24	-0.22	Tm	-0.21	-0.28	0.31
Sr	-0.08	-0.21	0.73	Yb	-0.23	-0.27	0.30
Y	-0.20	-0.29	0.47	Lu	-0.21	-0.25	0.30
Zr	0.21	0.16	-0.42	Hf	0.15	0.16	-0.42

Примечание. Полу жирным выделены коэффициенты корреляции выше 0.3.

Note. Correlation coefficients above 0.3 are highlighted in bold.

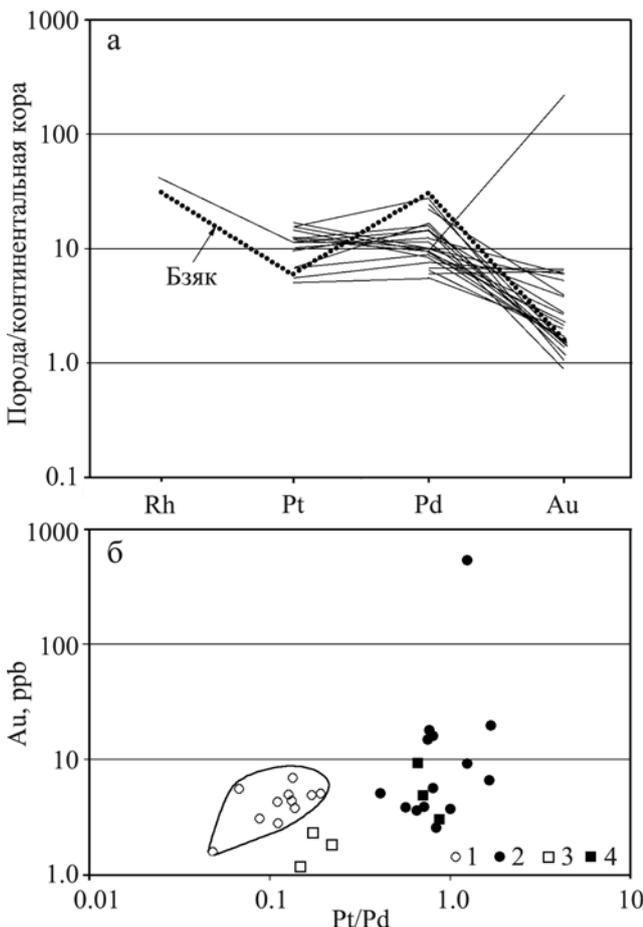


Рис. 5. График нормированных по континентальной коре (Wedepohl, 1995) содержаний благородных металлов (а) и диаграмма Au-Pt/Pd (б) для рудоносных пород месторождения Улюк-Бар и средних составов осадочных образований Башкирского мегантиклинория.

Средние содержания для: 1 – фоновых терригенных пород Башкирского мегантиклинория, 2 – рудоносных пород месторождения Улюк-Бар, 3 – метаморфизованных отложений северного фланга Исмакеевской рудной зоны, 4 – метаморфизованных отложений Шатакского комплекса (RF₂) и Улуелгинско-Кудашмановской зоны (RF₂). 1, 3, 4 – по (Ковалев и др., 2016).

Fig. 5. The graph of normalized abundance values for the continental crust (Wedepohl, 1995) (a) and the Au-Pt/Pd diagram (b) for ore-bearing rocks of the Ulyuk-Bar deposit and the average composition of sedimentary formations of the Bashkir meganticlinorium.

The average contents for: 1 – background terrigenous rocks of the Bashkir meganticlinorium, 2 – ore-bearing rocks of the Ulyuk-Bar deposit, 3 – metamorphosed deposits of the northern flank of the Ismakayevo ore zone, 4 – metamorphosed deposits of the Shatak complex (RF₂) and the Uluelga-Kudashmanovo zone (RF₂). 1, 3, 4 – by (Kovalev et al., 2016).

рождения Улюк-Бар подтверждает высказанное нами ранее предположение о его индикаторной роли для измененных терригенных отложений Башкирского мегантиклинория (Ковалев и др., 2016).

Особый интерес представляет распределение точек состава фоновых образований большеинзерской свиты и рудоносных пород месторождения Улюк-Бар на диаграмме Au–Pt/Pd (см. рис. 5б), где точки средних составов неизменных/фонových нижнерифейских отложений и среднерифейских пород (Ковалев и др., 2016) Башкирского мегантиклинория образуют единое поле, в то время как фигуративные точки, характеризующие рудоносные породы месторождения Улюк-Бар, близки к средним значениям вулканогенно-осадочных отложений Шатакского комплекса и Улуелгинско-Кудашмановской зоны, представляющих собой рифтогенные образования, подвергшиеся динамотермальному метаморфизму (Ковалев и др., 2013б). На наш взгляд, такое распределение имеет принципиальное значение, так как определяет генетические условия формирования геохимической ЭПГ-специализации рудоносных пород месторождения Улюк-Бар.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Приведенные выше особенности РЗЭ-ЭПГ-Ау-систематики рудоносных отложений месторождения Улюк-Бар, а также результаты анализа материалов, полученных ранее (Ковалев и др., 2016), позволяют предложить обобщенную модель формирования золотого оруденения в пределах характеризуемого района Башкирского мегантиклинория.

Согласно современным геодинамическим построениям (Пучков, 2010), западный склон Южного Урала в раннем-среднем рифее являлся частью Волго-Уральского сегмента палеоконтинента Балтика. Проявление на указанной территории в среднем рифее плюмовых процессов (Пучков, Ковалев, 2013; Маслов, Ковалев, 2017; Маслов и др., 2017) обусловило внедрение в зоны разломов многочисленных базитовых и базит-гипербазитовых интрузий, сформировавших дайковые пояса и рои, а также образование крупных промежуточных очагов, фиксируемых в настоящее время в виде вулканоплутонических комплексов (Шатакский, Машакский, Кусинско-Копанский и др.).

Разнообразие формационно-петрогенетических типов магматических пород среднерифейского возраста явилось определяющим для образования благороднометалльной геохимической специализации терригенных отложений верхних этажей земной коры фактором ввиду того, что они пронизывались потоками сопровождавших становление магматических комплексов флюидов, существование которых на флангах срединно-океанических хребтов и, что важно для нашего случая, активизированных континентальных склонах доказано прямыми измерениями флюидопотоков (Авилов, Авилова, 2003). Однотипность ЭПГ-Ау специализации среднерифейского магматизма, проявившегося на обширной

территории (Ковалев и др., 2016), иллюстрируется характером распределения платиноидов и золота в дайковых телах долеритов, присутствующих в пределах месторождения Улюк-Бар (рис. 6). Оно полностью соответствует благороднометалльной специализации магматических пород среднерифейского возраста.

В связи с этим локализация фигуративных точек рудоносных пород месторождения Улюк-Бар и осадочных образований Шатакского комплекса, специализация которых обусловлена прямым воздействием магматизма на субстрат рамы, в едином поле на диаграмме Au–Pt/Pd (см. рис. 5) служит доказательством, на наш взгляд, формирования благороднометалльной геохимической специализации этих пород из единого источника и при сходных механизмах воздействия.

На прямую связь оруденения с магматизмом указывают также и изотопные характеристики сульфидов месторождения Улюк-Бар (Мичурин и др., 2009). Значения $\delta^{34}\text{S}$ пирита, пирротина и арсенопирита располагаются в интервале от -4.3 до 5.4‰ ($\delta^{34}\text{S}_{\text{cp}} = -0.7\text{‰}$). Причем с глубиной ($\approx 450\text{--}700$ м) изотопный состав серы сульфидов имеет еще меньшее отличие от величины метеоритного стандарта – $\delta^{34}\text{S} = -2.7\text{...}3.6\text{‰}$. Изотопные составы углерода и кислорода ($\delta^{13}\text{C} = -7.7\text{...}-6.1\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O} = 18.4\text{...}18.6\text{‰}$) жильных карбонатов из месторождения Улюк-Бар также свидетельствуют о связи рудоносного флюида с магматическим ис-

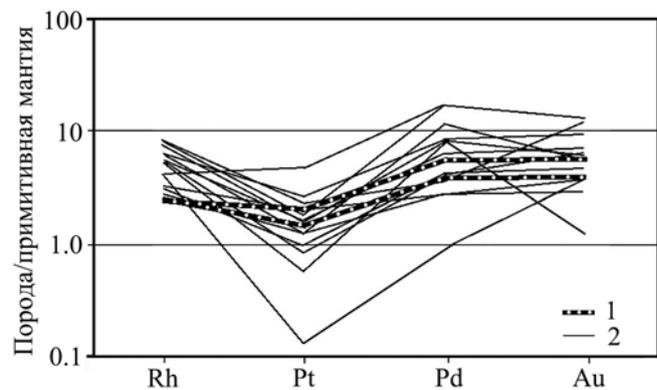


Рис. 6. Нормированные по примитивной мантии (McDonough, Sun, 1995) содержания благородных металлов в дайковых телах долеритов (1), локализованных среди рудоносных отложений месторождения Улюк-Бар, и магматических породах среднерифейского возраста (2). 2 – по (Ковалев и др., 2016).

Fig. 6. Normalized to the primitive mantle, according to (McDonough and Sun, 1995), the content of noble metals in dyke bodies of dolerites (1), localized among ore deposits of the Ulyuk-Bar deposit and igneous rocks of the Middle Riphean age (2). 2 – by (Kovalev et al., 2016).

точником (Шарипова и др., 2017). Расчет по уравнениям фракционирования в системах доломит–CO₂ и анкерит–H₂O показывает, что изотопные составы С и О флюида составляли соответственно –6.5...–4.9‰ и 11.9...12.1‰ и близки к углероду и кислороду магматического происхождения (Фор, 1989).

Экстрагирующие, емкостные и транспортирующие характеристики флюидной фазы по отношению к рудогенным элементам, включая благородные металлы и редкоземельные элементы, детально рассмотрены в большом количестве публикаций, базирующихся как на экспериментальных разработках, так и на анализе фактического материала. В частности, Н.С. Горбачевым с соавторами (2010) экспериментально доказано, что дегазация в гипабиссальных условиях способствует обогащению магматогенных флюидов РЗЭ и, кроме этого, флюидная фаза обеспечивает эффективную мобилизацию и перенос Au, Pt и Pd из магм и их отложение в близкповерхностных условиях при снижении температуры, давления и изменения рН среды. Таким образом, приведенный выше материал свидетельствует, на наш взгляд, о том, что среднерифейский магматизм, проявившийся на обширной территории, привел к формированию в осадочном субстрате геохимических аномалий благородных металлов.

Следующий этап рудообразования связан с вендской коллизией, когда территория Южного Урала развивалась в режиме сжатия, что выразилось в региональном метаморфизме и локально проявленном метасоматозе (Пучков, 2010). Проведенные нами ранее исследования показали, что в это время формировались не только зональные метаморфические комплексы (Белорецкий) с высокотемпературными минеральными парагенезисами (гранат + омфациит), но и линейные зоны (Улуелгинско-Кудашмановская, Суранско-Интуратовская и др.) с термобарическими параметрами изменения субстрата на уровне амфиболитовой и зеленосланцевой фаций (Ковалев и др., 2013б, 2018). Процессы минералообразования в таких зонах характеризовались в первую очередь перераспределением вещества при стрессовой динамической нагрузке в условиях мусковит-хлоритовой и эпидот-амфиболитовой субфаций зеленосланцевой фации метаморфизма и определяющей роли гидротермальных систем, условия функционирования которых не являлись, вероятнее всего, специфическими, а были близки к детально описанным для сходных объектов (Бортников и др., 2004, 2007).

Процесс метаморфизма сопровождался перераспределением благородных металлов. Здесь же необходимо подчеркнуть, что, в отличие от расположенных восточнее аналогичных приразломных зон, в частности Улуелгинско-Кудашмановской (Ковалев и др., 2013б), деятельность гидротермальной системы, сформировавшейся в зоне Караташ-

ского разлома, выражена слабее, о чем свидетельствует анализ новообразованных минеральных ассоциаций и парагенезисов минералов. В целом это обусловлено спецификой стрессового метаморфизма, проявившегося в пределах восточного крыла Башкирского мегантиклинория, которая выразилась в том, что метаморфизм имеет “приразломный” характер, когда зоны метаморфизованных пород перемежаются с участками неизмененных (либо слабо измененных) отложений (рис. 7). “Затухающий” характер метаморфизма вследствие удаленности от Белорецкого комплекса привел к фор-

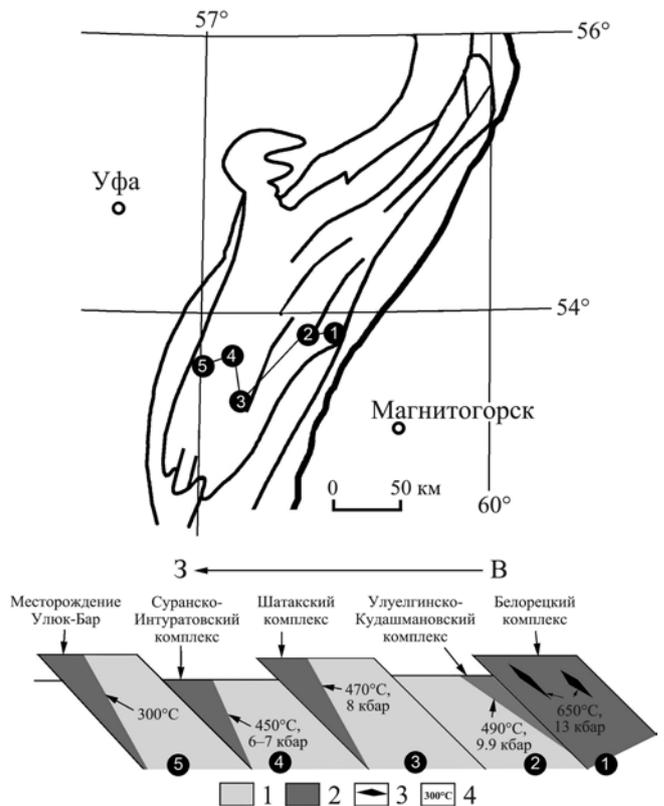


Рис. 7. Схема Башкирского мегантиклинория и идеализированный разрез его восточной части с термобарическими параметрами метаморфизма “приразломных” зон, по (Ковалев и др., 2018) с дополнениями.

1 – неизмененные/фоновые отложения, 2 – метаморфизованные породы, 3 – эклогиты Белорецкого комплекса, 4 – максимальные значения термобарических параметров.

Fig. 7. Scheme of the Bashkir meganticlinorium and an idealized section of its eastern part with thermobaric parameters of the metamorphism of the “fault zones”, according to (Kovalev et al., 2018) with additions.

1 – unchanged/background deposits, 2 – metamorphosed rocks, 3 – eclogites of the Beloretsky complex, 4 – maximum values of thermobaric parameters.

мированию гидротермальной системы, термабарические параметры функционирования которой соответствовали условиям образования малосульфидного золото-кварцевого оруденения.

Перераспределение РЗЭ при метаморфизме и в гидротермальных процессах является сложным вопросом. Анализ литературных источников, проведенный С.Г. Скубловым (2005), показал, что существуют как доказательства их инертного поведения при метаморфизме, так и подвижности. В то же время на многих золоторудных месторождениях перераспределение РЗЭ установлено. В частности, Ю.С. Ананьевым (2012) при изучении распределения РЗЭ в метасоматитах и рудах золоторудных месторождений Западной Калбы (Восточный Казахстан) установлена латеральная и вертикальная зональность, заключающаяся в том, что в первом случае максимальная доля ЛРЗЭ сосредоточена во фронтальной зоне метасоматической колонки, а ТРЗЭ – в тыловой. Вертикальная зональность выражена в том, что максимальное количество легких лантаноидов фиксируется в верхних частях рудных тел, а тяжелых – в нижних. Таким образом, если рассматривать ситуацию с распределением РЗЭ на месторождении Улюк-Бар с этих позиций, то рудная зона месторождения соответствует нижней части рудного тела (верхняя эродирована?) и тыловой зоне метасоматической колонки.

Многоэтапный процесс перераспределения РЗЭ при формировании Нежданнинского золоторудного месторождения детально исследован Н.С. Бортниковым с соавторами (2007), в результате чего установлено снижение суммарных концентраций РЗЭ и возрастание роли тяжелых редких земель в направлении от дорудных к рудосопровождающим метасоматитам. На примере Васильковского золоторудного месторождения (Северный Казахстан) М.О. Хоменко с соавторами (2016) показал, что перераспределение РЗЭ происходит при формировании кварцевых жил при различных РТ-параметрах среды минералообразования. Кроме того, изучение зональности метаморфических комплексов позволило установить, что в условиях зеленосланцевой фации вокруг кварцевых прожилков наблюдаются повышенные содержания ТРЗЭ (Ague, 2001).

Если спроецировать эти данные на штокверковое кварцевое оруденение месторождения Улюк-Бар, то обогащение терригенных пород тяжелыми лантаноидами выглядит вполне логичным. Однако представляется, что работы в этом направлении необходимо продолжить с постановкой детальных минералогических исследований.

ВЫВОДЫ

1. В результате проведенных исследований установлено, что содержание благородных металлов в рудоносных породах месторождения Улюк-Бар

превышает их количество в земной коре в 8–10 раз, а отношение $\sum \text{ЭПГ}/\text{Au}$ подвержено значительным вариациям (от 0.01 до 6.61), что свидетельствует о перераспределении золота в процессе рудообразования.

2. Au, Pt и Pd концентрируются в рудоносных породах месторождения Улюк-Бар в разных минералах. Их содержания в породах не коррелируют между собой. Золото связано с минералами мышьяка (арсенопиритом и мышьяковистым пиритом). Палладий обнаруживает связь с жильными карбонатными минералами (в первую очередь, с кальцитом) и, кроме того, имеет умеренные положительные связи с тяжелыми РЗЭ, что, вероятно, указывает на его ассоциацию с редкоземельной (ксенотимовой) минерализацией. Платина, возможно, частично связана с процессами окремнения и альбитизации пород.

3. ЭПГ-геохимическая специализация рудоносных отложений большеинзерской свиты нижнего рифея месторождения Улюк-Бар по ряду параметров близка к специализации пород машакской свиты среднего рифея Шатакского комплекса, сформировавшейся при воздействии среднерифейского магматизма на осадочные породы верхних этажей земной коры.

4. Установлена обогащенность рудоносных отложений месторождения Улюк-Бар тяжелой группой редкоземельных элементов по сравнению с их фоновыми содержаниями в песчаниках и сланцах большеинзерской свиты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Авилов В.И., Авилова С.Д. (2003) Потоки газов в придонной зоне глубоководной части океана. *Докл. АН*, **389**(4), 519-523.
- Ананьев Ю.С. (2012) Редкоземельные элементы в метасоматитах и рудах золоторудных месторождений Западной Калбы. *Изв. Томского политехн. университета*, **321**(1), 56-62.
- Бердников П.Г. (1987) Перспективы золотого оруденения Муртыктинского и Авзянского типов (Южный Урал). *Геология, минералогия и геохимия месторождений золота Урала*. Свердловск: УрО РАН, 96-101.
- Бортников Н.С., Брызгалов И.А., Кривицкая Н.Н., Прокофьев В.Ю., Викентьева О.В. (2004) Майское многоэтапное прожилково-вкрапленное золото-сульфидное месторождение (Чукотка, Россия): минералогия, флюидные включения, стабильные изотопы (О и S), история и условия образования. *Геология рудн. месторождений*, **46**(6), 475-509.
- Бортников Н.С., Гамянин Г.Н., Викентьева О.В., Прокофьев В.Ю., Алпатов В.А., Бахарев А.Г. (2007) Состав и происхождение флюидов в гидротермальной системе Нежданнинского золоторудного месторождения (Саха-Якутия, Россия). *Геология рудн. месторождений*, **49**(2), 99-145.
- Викентьев И.В., Сидорова Н.В., Викентьева О.В., Шан Гуо Су, Жао Хуа Луо, Бортников Н.С. (2015) Теллуриды на золоторудном месторождении Лаовань

- (Восточный Китай) – новые свидетельства магматического источника гидротермальных флюидов. *Докл. АН*, **462**(4), 456-460.
- Горбачев Н.С., Дадзе Т.П., Каширцева Г.А., Кунц А.Ф. (2010) Флюидный перенос золота, палладия, редкоземельных элементов и генезис рудопроявлений Приполярного Урала. *Геология рудн. месторождений*, **52**(3), 241-259.
- Горячев Н.А. (2014) Благороднометалльный рудогенез и мантийно-коровое взаимодействие. *Геология и геофизика*, **55**(2), 323-332.
- Кац Ш.Н., Нуриева Р.Ф., Середа Е.И. (1986) Околорудные изменения пород Авзянского рудного района, вмещающих золотое оруденение. *Минералогия, геохимия и генезис полезных ископаемых Южного Урала*. Уфа: БФАН СССР, 42-45.
- Ковалев С.Г., Высоцкий И.В. (2001) Геохимия золота западного склона Южного Урала. *Геология и перспективы расширения сырьевой базы Башкортостана и сопредельных территорий*. Мат-лы IV Республ. геол. конф. Т. 2. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 134-140.
- Ковалев С.Г., Высоцкий И.В., Пучков В.Н., Маслов А.В., Гареев Э.З. (2013а) Геохимическая специализация структурно-вещественных комплексов Башкирского мегантиклинория. Уфа: ДизайнПресс, 268 с.
- Ковалев С.Г., Высоцкий И.В., Фаткуллин И.Р. (1999) Сложнодислоцированные углеродсодержащие толщи западного склона Южного Урала. Уфа: Изд. БГУ, 118 с.
- Ковалев С.Г., Ковалев С.С., Высоцкий С.И. (2017) Торий-редкоземельная минерализация в докембрийских породах Башкирского мегантиклинория: видовое разнообразие и генезис. *Записки РМО*, **146**(5), 59-80.
- Ковалев С.Г., Маслов А.В., Гареев Э.З. (2016) Благороднометаллическая специализация терригенных пород нижнего и среднего рифея Южного Урала. *Литология и полезн. ископаемые*, (6), 530-546.
- Ковалев С.Г., Мичурин С.В., Высоцкий И.В., Ковалев С.С. (2013б) Геология, минералогия и металлогенетическая специализация углеродсодержащих толщ Улуелгинско-Кудашмановской зоны (западный склон Южного Урала). *Литосфера*, (3), 67-88.
- Ковалев С.Г., Пучков В.Н., Высоцкий С.И., Ковалев С.С. (2016) Первые данные о содержании и распределении благородных металлов в рифейских магматических комплексах Башкирского мегантиклинория и восточной окраины Восточно-Европейской платформы. *Докл. АН*, **471**(4), 459-464.
- Ковалев С.Г., Пучков В.Н., Ковалев С.С., Высоцкий С.И. (2018) Первые данные количественной оценки параметров вендского метаморфизма восточной части башкирского мегантиклинория. *Докл. АН*, **483**(3), 301-305.
- Маслов А.В., Ковалев С.Г. (2017) Низкоуглеродистые глинистые сланцы эталонного разреза рифея, плюмовые события и распад суперконтинентов: к анализу взаимосвязей. *Докл. АН*, **473**(5), 580-584.
- Маслов А.В., Ковалев С.Г., Гареев Э.З. (2017) Низкоуглеродистые глинистые сланцы рифея Южного Урала в контексте формирования крупных магматических провинций. *Геохимия*, (7), 594-608.
- Маслов А.В., Ножкин А.Д., Подковыров В.Н., Летникова Е.Ф., Туркина О.М., Гражданкин Д.В., Дмитриева Н.В., Ишерская М.В., Крупенин М.Т., Ронкин Ю.Л., Гареев Э.З., Вещева С.В., Лепихина О.П. (2008) Геохимия тонкозернистых терригенных пород верхнего докембрия Северной Евразии. Екатеринбург: УрО РАН, 274 с.
- Мичурин С.В., Ковалев С.Г., Горожанин В.М. (2009) Генезис сульфатов и сульфидов в нижнерифейских отложениях Камско-Бельского авлакогена и Башкирского мегантиклинория. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 192 с.
- Мичурин С.В., Ковалев С.Г., Кринов Д.И. (2010) Ториевая минерализация золоторудных объектов Башкирского антиклинория (Южный Урал). *Самородное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований*. Мат-лы Всеросс. конф., посвящ. 100-летию Н.В. Петровской. Т. 2. М.: ИГЕМ РАН, 50-52.
- Мичурин С.В., Шарипова А.А. (2011) Химическое датирование уран-ториевой минерализации из нижнерифейских отложений Башкирского антиклинория. *Геол. сборник*, (9). Уфа: ИГ УНЦ РАН, 216-219.
- Мичурин С.В., Шарипова А.А., Крупенин М.Т., Замятин Д.А., Мусина А.М., Попов В.А. (2018) Сульфидная минерализация, самородное золото и его геохимические связи в рифейских отложениях Авзянского рудного района (Южный Урал). *Литосфера*, **18**(1), 61-81.
- Нечаев В.П. (1982) Особенности гидротермально-метасоматического процесса на некоторых золоторудных проявлениях западного склона Южного Урала. *Вопросы минералогии, геохимии и генезиса полезных ископаемых Южного Урала*. Уфа: БФАН СССР, 52-56.
- Пучков В.Н. (2010) Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 280 с.
- Пучков В.Н., Ковалев С.Г. (2013) Плюмовые события на Урале и их связь с субглобальными эпохами рифтогенеза. *Континентальный рифтогенез, сопутствующие процессы*. Иркутск: ИЗК СО РАН, 34-38.
- Рыкус М.В., Сначев В.И. (1999) Золото западного склона Южного Урала. Уфа: УНЦ РАН, 170 с.
- Сазонов В.Н., Огородников В.Н., Коротеев В.А., Поленов Ю.А. (1999) Месторождения золота Урала. Екатеринбург: УГГА, 570 с.
- Сазонов В.Н., Коротеев В.А. Основные золотопродуктивные и сопутствующие метасоматические формации Урала (геологическая позиция, зональность, минералогическая, химическая и текстурно-структурная трансформация эдуктов и прогностическое значение). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2009. 161 с.
- Салихов Д.Н., Ковалев С.Г., Беликова Г.И., Бердников П.Г. (2003) Полезные ископаемые Республики Башкортостан (золото). Уфа: Экология, 223 с.
- Скублов С.Г. (2005) Геохимия редкоземельных элементов в породообразующих метаморфических минералах. СПб.: Наука, 147 с.
- Фор Г. (1989) Основы изотопной геологии. М.: Мир, 590 с.
- Хоменко М.О., Гибшер Н.А., Томиленко А.А., Бульбак Т.А., Рябуха М.А., Семенова Д.В. (2016) Физико-

- химические параметры и возраст формирования Васильковского золоторудного месторождения (Северный Казахстан). *Геология и геофизика*, **57**(12), 2192-2217.
- Шарипова А.А., Мичурин С.В., Крупенин М.Т., Гараева А.А., Канипова З.А. (2017) Жильный кварц из рудопроявлений золота в рифеских отложениях Авзянского рудного района (Южный Урал): минералогические и термодатометрические особенности. *Вестник Пермского университета*, **16**(3), 216-231.
- Ague J.J. (2001) Transport of rare earth elements by fluids during Barrovian-style metamorphism. *XI Goldschmidt Conf. Abs.*, 23-27.
- Bau M. (1991) Rare-earth element mobility during hydrothermal and metamorphic fluid-rock interaction and significance of oxidation state of europium. *Chem. Geol.*, **93**, 219-230.
- Bowles J.F.W. (2002) Applications of Electron Microbeam Analysis in the Earth Sciences. *Mikrochim. Acta*, **138**, 125-131.
- McDonough W.F., Sun S.S. (1995) Composition of the Earth. *Chem. Geol.*, **120**, 223-253.
- Wedepohl K.H. (1995) The composition of the continental crust. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **59**, 1217-1239.
- REFERENCES
- Ague J.J. (2001) Transport of rare earth elements by fluids during Barrovian-style metamorphism. *XI Goldschmidt Conf. Abs.*, 23-27.
- Anan'ev Yu.S. (2012) Rare earth elements in metasomatites and ores of gold deposits of Western Kalba. *Izv. Tomsk. Polytech. Univ.*, **321**(1), 56-62. (In Russian)
- Avilov V.I., Avilova S.D. (2003) Streams of gases in the near-bottom zone of the deep ocean. *Dokl. Akad. Nauk*, **389**(4), 519-523. (In Russian)
- Bau M. (1991) Rare-earth element mobility during hydrothermal and metamorphic fluid-rock interaction and significance of oxidation state of europium. *Chem. Geol.*, **93**, 219-230.
- Berdnikov P.G. (1987) Prospects for the gold mineralization of the Murtykty and Avzyan types (the Southern Urals). *Geologiya, mineralogiya i geokhimiya mestorozhdenii zolota Urala* [Geology, mineralogy and geochemistry of gold deposits in the Urals]. Sverdlovsk, UB RAS, 96-101. (In Russian)
- Bortnikov N.S., Bryzgalov I.A., Krivitskaya N.N., Prokof'ev V.Yu., Vikent'eva O.V. (2004) Maiskoe multi-stage vein-disseminated gold-sulfide deposit (Chukotka, Russia): mineralogy, fluid inclusions, stable isotopes (O and S), history and conditions of formation. *Geol. Rudn. Mestorozhd.*, **46**(6), 475-509. (In Russian)
- Bortnikov N.S., Gamyarin G.N., Vikenteva O.V., Prokof'ev V.Yu., Alpatov V.A., Bakharev A.G. (2007) Composition and origin of fluids in the hydrothermal system of the Nezhdaninskoye gold deposit (Sakha-Yakutia, Russia). *Geol. Rudn. Mestorozhd.*, **49**(2), 99-145. (In Russian)
- Bowles J.F.W. (2002) Applications of Electron Microbeam Analysis in the Earth Sciences. *Mikrochim. Acta*, **138**, 125-131.
- For G. (1989) *Osnovy izotopnoi geologii* [Foundations of isotope geology]. Moscow, Mir Publ., 590 p. (In Russian)
- Gorbachev N.S., Dadze T.P., Kashirtseva G.A., Kunz A.F. (2010) Fluid transfer of gold, palladium, rare-earth elements and genesis of ore occurrences in the Subpolar Urals. *Geol. Rudn. Mestorozhd.*, **52**(3), 241-259. (In Russian)
- Goryachev N.A. (2014) Noble metal oreogenesis and mantle-crustal interaction. *Geol. Geofiz.*, **55**(2), 323-332. (In Russian)
- Katz Sh.N., Nurieva R.F., Sereda E.I. (1986) Near-ore changes in the rocks of the Avzyan ore region, containing gold mineralization. *Mineralogiya, geokhimiya i genesis poleznykh iskopaemykh Yuzhnogo Urala* [Mineralogy, geochemistry and genesis of minerals in the Southern Urals]. Ufa, BF AN USSR, 42-45. (In Russian)
- Khomenko M.O., Gibsher N.A., Tomilenko A.A., Bul'bak T.A., Ryabukha M.A., Semenova D.V. (2016) Physicochemical parameters and the age of formation of the Vasilkovsky gold ore deposit (Northern Kazakhstan). *Geol. Geofiz.*, **57**(12), 2192-2217. (In Russian)
- Kovalev S.G., Kovalev S.S., Vysotsky S.I. (2017) Thorium is a rare earth mineralization in the Precambrian rocks of the Bashkir meganticlinorium: species diversity and genesis. *Zapiski RMO*, **146**(5), 59-80. (In Russian)
- Kovalev S.G., Maslov A.V., Gareev E.Z. (2016) Noble-scale specialization of terrigenous rocks of the Lower and Middle Riphean of the Southern Urals. *Lithol. Polezn. Iskop.*, (6), 530-546. (In Russian)
- Kovalev S.G., Michurin S.V., Vysotsky I.V., Kovalev S.S. (2013b) Geology, mineralogy and metallogenic specialization of the carboniferous strata of the Ulul'ginsky-Kudashmanovo zone (western slope of the Southern Urals). *Litosfera*, (3), 67-88.
- Kovalev S.G., Puchkov V.N., Kovalev S.S., Vysotsky S.I. (2018) The first data of a quantitative assessment of the parameters of the Vendian metamorphism of the eastern part of the Bashkir meganticlinorium. *Dokl. Earth Sci.*, **483**(3), 301-305.
- Kovalev S.G., Puchkov V.N., Vysotsky S.I., Kovalev S.S. (2016) The first data on the content and distribution of precious metals in the Riphean magmatic complexes of the Bashkir meganticlinorium and the eastern margin of the East European Platform. *Dokl. Earth Sci.*, **471**(4), 459-464.
- Kovalev S.G., Vysotsky I.V. (2001) Geochemistry of gold from the western slope of the Southern Urals. *Geologiya i perspektivy rasshireniya syr'evoi bazy Bashkortostana i sopredel'nykh territorii*. Materialy IV Respublikanskoi Geologicheskoi Konferentsii. T. 2 [Geology and prospects of expanding the raw material base of Bashkortostan and adjacent territories. Materials of the IV Republican Geological Conference. V. 2]. Ufa, IG UNSC RAS, 134-140. (In Russian)
- Kovalev S.G., Vysotsky I.V., Fatkullin I.R. (1999) *Slozhnodislotsirovannye uglerodsoderzhashchie tolshchi zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala* [Complexly dislocated carbonaceous strata of the western slope of the Southern Urals]. Ufa, Ed. Bashkir. State Univ. Publ., 118 p. (In Russian)
- Kovalev S.G., Vysotsky I.V., Puchkov V.N., Maslov A.V., Gareev E.Z. (2013a) *Geokhimicheskaya spetsializatsiya strukturno-veshchestvennykh kompleksov Bashkirskogo megantiklonoriya* [Geochemical specialization of the structural and material complexes of the Bashkir meganticlinorium]. Ufa, DesignPress Publ., 268 p. (In Russian)

- Maslov A.V., Kovalev S.G. (2017) Low-Carbonaceous Shales in the Riphean Stratotype, Plume Events, and Supercontinent Breakup: Analysis of the Relationship *Dokl. Earth Sci.*, **473**(2), 397-401.
- Maslov A.V., Kovalev S.G., Gareev E.Z. (2017) Riphean low-carbonaceous shales of the South Urals in the context of formation of large igneous provinces. *Geokhimiya*, (7), 594-608. (In Russian)
- Maslov A.V., Nozhkin A.D., Podkovyrov V.N., Letnikova E.F., Turkina O.M., Grazhdankin D.V., Dmitrieva N.V., Isherskaya M.V., Krupenin M.T., Ronkin Yu.L., Gareev E.Z., Veshcheva S.V., Lepikhina O.P. (2008) *Geokhimiya tonkozernistykh terrigenykh porod verkhnego dokemriya Severnoi Evrazii* [Geochemistry of fine-grained terrigenous rocks of the Upper Precambrian of Northern Eurasia]. Ekaterinburg, UrO RAN, 274 p. (In Russian)
- McDonough W.F., Sun S.S. (1995) Composition of the Earth. *Chem. Geol.*, **120**, 223-253.
- Michurin S.V., Kovalev S.G., Gorozhanin V.M. (2009) *Genesis sulfatov i sulfidov v nizhnerifejskikh otlozheniyakh Kamsko-Bel'skogo avlakogena i Bashkirskogo megantiklinoriya* [Genesis of sulfates and sulphides in the Lower Riphean deposits of the Kamsko-Belsky aulacogene and the Bashkir megantiklinorium]. Ufa, Design-PoligraphService Publ., 192 p. (In Russian)
- Michurin S.V., Kovalev S.G., Krinov D.I. (2010) Thorium mineralization of gold objects of the Bashkir megantiklinorium (Southern Urals). *Samorodnoe zoloto: tipomorfizm mineral'nykh assotsiatsii, usloviya obrazovaniya mestorozhdenii, zadachi prikladnykh issledovaniy*. Materialy Vseros. Konf., posvyashchennoi 100-letiyu N.V. Petrovskoi. T. 2 [Native gold: the typomorphism of mineral associations, the conditions for the formation of deposits, the tasks of applied research. Materials of the All-Russian Conference, dedicated to the 100th anniversary of N.V. Petrovskaya. V. 2]. Moscow, IGEM RAS, 50-52. (In Russian)
- Michurin S.V., Sharipov A.A. (2011) Chemical dating of uranium-thorium mineralization from the Lower Riphean deposits of the Bashkir anticlinorium. *Geologicheskii sbornik*, (9). Ufa, IG UNC RAN, 216-219. (In Russian)
- Michurin S.V., Sharipova A.A., Krupenin M.T., Zamyatin D.A., Musina A.M., Popov V.A. (2018) Sulphide mineralization, native gold and its geochemical relationships in the Riphean deposits of the Avzyan ore region (the Southern Urals). *Litosfera*, **18**(1), 61-81. (In Russian)
- Nechaev V.P. (1982) Peculiarities of the hydrothermal-metasomatic process on some gold ore manifestations of the western slope of the Southern Urals. *Voprosy geologii, geokhimii i genezisa poleznykh iskopaemykh Yuzhnogo Urala* [The issues of mineralogy, geochemistry and genesis of minerals in the Southern Urals]. Ufa, BF AN SSSR, 52-56. (In Russian)
- Puchkov V.N. (2010) *Geologiya Urala i Priural'ya (aktual'nye voprosy stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii)* [Geology of the Urals and the Cisurals (Actual issues of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny)]. Ufa, DesignPolygraph Service Publ., 280 p. (In Russian)
- Puchkov V.N., Kovalev S.G. (2013) Plum events in the Urals and their relationship to the subglobal epochs of rifting. *Kontinental'nyi riftogenez, soputstvuyushchie protsessy* [Continental rifting, concomitant processes]. Irkutsk, IZK SB RAS, 34-38. (In Russian)
- Rykus M.V., Snachev V.I. (1999) *Zoloto zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala* [Gold of the western slope of the Southern Urals]. Ufa, UNC RAN, 170 p. (In Russian)
- Salikhov D.N., Kovalev S.G., Belikova G.I., Berdnikov P.G. (2003) *Poleznye iskopaemye Respubliki Bashkortostan (zoloto)* [Minerals of the Republic of Bashkortostan (gold)]. Ufa, Ecology Publ., 223 p. (In Russian)
- Sazonov V.N., Koroteev V.A. (2009) *Osnovnye zoloto-produktivnye i soputstvuyushchie metasomaticheskie formatsii Urala (geologicheskaya pozitsiya, zonal'nost', mineralogicheskaya, khimicheskaya i tekturno-struktural'naya transformatsiya eduktov i prognosticheskoe znachenie)* [The main gold-producing and associated metasomatic formations of the Urals (geological position, zonality, mineralogical, chemical and textural-structural transformation of educts and prognostic value)]. Ekaterinburg, IGG UO RAN, 161 p. (In Russian)
- Sazonov V.N., Ogorodnikov V.N., Koroteev V.A., Polenov Yu.A. (1999) *Mestorozhdeniya zolota Urala* [Deposits of gold from the Urals]. Ekaterinburg, UGGA, 570. (In Russian)
- Sharipova A.A., Michurin S.V., Krupenin M.T., Garaeva A.A., Kanipova Z.A. (2017) Vein quartz from ore occurrences of gold in the reef deposits of the Avzyan ore region (Southern Urals): mineralogical and thermocryometric features. *Vestn. Perm. Univer.*, **16**(3), 216-231. (In Russian)
- Skublov S.G. (2005) *Geokhimiya redkozemel'nykh elementov v porodoobrazuyushchikh metamorficheskikh mineralakh* [Geochemistry of rare-earth elements in rock-forming metamorphic minerals]. St.Petersburg, Nauka Publ., 147 p. (In Russian)
- Vikent'ev I.V., Sidorova N.V., Vikent'eva O.V., Shan Guo Su, Zhao Hua Luo, Bortnikov N.S. (2015) Tellurides at the Laowan gold deposit (East China) – new evidence of a magmatic source of hydrothermal fluids. *Dokl. Earth Sci.*, **462**(4), 456-460. (In Russian)
- Wedepohl K.H. (1995) The composition of the continental crust. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **59**, 1217-1239.