

Геохимические особенности руд Au-Hg месторождений Калычанской металлогенической зоны (Северо-восточная Якутия)

Волков А.В., Галямов А.Л., Мурашов К.Ю.

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва, tma2105@mail.ru

Аннотация. Au-Hg месторождения (Гал-Хая, Арбат, Пологое) и многочисленные рудопоявления Калычанской металлогенической зоны имеют типоморфные черты месторождений золота Карлинского типа (МЗКТ) в Неваде. Рассмотрены новые данные о геохимических характеристиках минерализации, которые использованы для облегчения сравнения с МЗКТ.

Ключевые слова: Арктическая зона, Якутия, Калычанская зона, Карлинский тип, месторождение, золото, руда, геохимические особенности.

The geochemical features of the ores of Au-Hg deposits of the Kalychan metallogenic zones (Northeast Yakutia)

Volkov A.V., Galyamov A.L., Murashov K.Yu.

Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry RAS, Moscow, tma2105@mail.ru

Abstract. The Au-Hg deposits (Gal-Khaya, Arbat, Pologoe) and numerous ore occurrences of the Kalychan metallogenic zone have typomorphic features of the Carlin type gold deposits (CTGD) in Nevada. New data on the geochemical characteristics of the mineralization are considered, which are used to facilitate comparison with CTGD.

Keywords: Arctic zone, Yakutia, Kalychan zone, Carlin type, gold, deposit, ore, geochemical features.

Введение

Месторождения (Гал-Хая, Арбат, Пологое) и многочисленные рудопоявления (Au-As-Sb-Hg) расположены в 80 км южнее пос. Депутатский, в междуречье Уяндины и Селеняха, в Арктической зоне Республики Саха (Якутия) (рис. 1, врезка).

Месторождения имеют типоморфные черты МЗКТ в Неваде (Поспелов и др., 2002): карбонатно-терригенные вмещающие породы; структурный контроль минерализации надвигами; метасоматические изменения включают: декарбонизацию, окварцевание (джаспероиды), аргиллизацию и сульфидизацию; геохимические индикаторы Au, As, Hg, Sb, Tl (Волков, Сидоров, 2016). Однако они отличаются от МЗКТ меньшим масштабом; незначительным развитием джаспероидов и аргиллизитов; более широким распространением доломитизация; слабой золотоносностью коры выветривания и зоны окисления рудных тел (Суплецов, Оксман, 2000; Поспелов и др., 2002; Егоров, 2006).

В результате анализа геофизических моделей земной коры выявлено сходство геодинамических обстановок формирования невадийских и калычанских МЗКТ, что подтверждает хорошие перспективы открытия крупных месторождений в этом арктическом районе Якутии (Волков и др., 2020).

В настоящей статье рассмотрены новые данные о геохимических особенностях руд месторождений Арбат и Пологое, которые использованы для облегчения сравнения с МЗКТ.

Геология месторождений Калычанской зоны

Au-Hg месторождения и многочисленные рудопоявления расположены в Калычанской кулисе (рис. 1) Селеняхской металлогенической зоны (СМЗ), вытянутой в северо-западном направлении вдоль Омудевского террейна, сложенного преимущественно нижне- и среднепалеозойскими карбонатными и терригенно-карбонатными отложениями, которые несогласно перекрыты верхнеюрскими вулканогенно-осадочными образованиями Уяндино-Ясачненского пояса (Тектоника..., 2001).

С запада и севера СМЗ ограничена Нальчанским и Полоусненским надвигами, по которым палеозойские карбонатные толщи надвинуты и перекрывают мезозойские терригенные породы Поло-

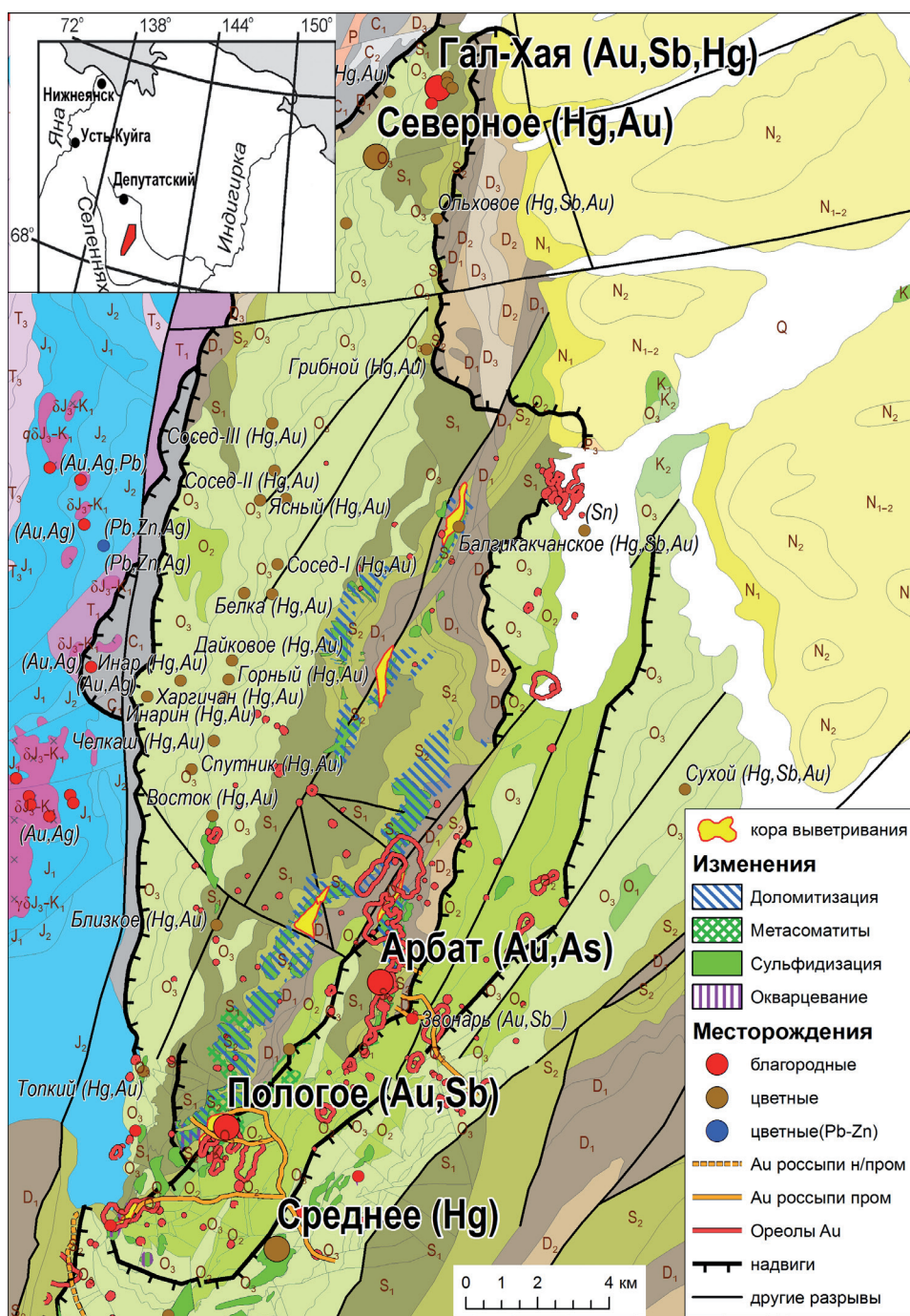


Рис. 1. Геолого-металлогеническая карта Калычанской зоны.

Fig. 1. Geological and metallogenic map of the Kalychan zone.

усенской складчатой зоны. Складчато-надвиговые структуры Селенняхского аллохтонного блока прорваны гранитными массивами Северного батолитового пояса и дайками долеритов позднемезозойского возраста (Тектоника..., 2001).

Месторождения, как правило, локализованы в сводах и крыльях сжатых коробчатых антиклиналей, разбитых на блоки разноплановыми тектоническими нарушениями. Дорудные дайки субмеридианального простирания представлены диабазовыми порфиритами и габбро-диабазами. Поздние дайки кайнотипного облика образованы эссекситами, камптонитами и мончикитами (Тектоника..., 2001). Месторождения Арбат и Пологое размещаются вдоль Калычанской системы правых сдвигов (рис. 1), которая разделяет северо-западную и юго-восточную зоны складчато-надвиговых дислокаций (Третьяков и др., 2013).

Площадь месторождения Арбат совпадает с меридиональным выходом доломитов рябининской свиты верхнего силура, которые слагают тектонический блок (протяженностью 6000 м при ширине 200-500 м), с запада и востока ограниченный взбросо-сдвиговыми разломами. В составе свиты преобладают массивные доломиты замещения, от мелкозернистых до средне- и крупнозернистых, часто с брекчиевой и брекчиевидной текстурой. Вмещающие породы интенсивно метасоматически изменены (пиритизация, доломитизация, окварцевание, аргиллизация) и сопровождаются геохимическими Au-As-Sb-Hg аномалиями. На месторождении установлено более 10 рудоносных зон интенсивной трещиноватости, дробления и брекчирования, в которых золотая минерализация ассоциирует с джаспероидами, аргиллизитами, гидроокислами железа, аурипигментом, реальгаром и киноварью. В рудных телах, границы которых определяются только по опробованию, распространена тонкая вкрапленность золота, часто присутствующая в сульфидах. По химическому составу руды аналогичны вмещающим породам – доломитам рябининской свиты. Метасоматический кварц распространен неравномерно, содержание его достигает 1-2 и более %. Средние содержания золота в рудах 1.07-2.59 г/т (Егоров, 2006). Рудные минералы представлены пиритом, марказитом, антимонитом, киноварью, золотом.

Месторождение Пологое сложено терригенно-карбонатными породами ордовика, которые надвинуты на доломиты силура. Минерализация контролируется Калычанским взбросо-сдвигом северо-восточного направления с опережающими его субмеридиональными взбросами. Отмеченные разломы имеют крутое юго-восточное падение. В этой зоне разломов выявлены две крупные линзы метасоматически переработанных доломитов рябининской свиты, вмещающих рудные тела с золотосурьмяной минерализацией. По падению и простиранию рудных тел отмечается увеличение мощностей, что обусловлено образованием зон растяжения и брекчирования за счет флексурных перегибов в плоскости разлома. Рудные тела характеризуются крайне неравномерным распределением сульфидной минерализации в виде жил, линз и гнезд. Рудные минералы представлены золотом, антимонитом, пиритом, арсенопиритом.

Геохимические особенности руд

В основу исследований геохимических особенностей руд рассматриваемых месторождений были положены новые данные, полученные методами масс-спектропии с индуктивно связанной плазмой (ISP–MS) и рентгенфлуоресцентного анализа, которые выполнялись в аналитической лаборатории ИГЕМ РАН (Аналитики А.И. Якушев и Я.В. Бычкова).

Результаты анализа микроэлементов в рудах представлены на диаграмме (рис. 2), где они нормированы по отношению к средним значениям для верхней коры (Тейлор, Мак-Леннан, 1988). Как следует из рис. 2, руды характеризуются явным обогащением халькофильными микроэлементами Au, Ag, As, Sb, Hg и незначительно обогащены Pb и W по сравнению со средними значениями верхней коры (Тейлор, Мак-Леннан, 1988). Кроме того, руды месторождения Пологое заметно обогащены Te и Se (рис. 2). Коэффициенты обогащения варьируют от нескольких – до тысяч и сотен тысяч раз (рис. 2), что свидетельствует о геохимическом родстве микроэлементов и их синхронном участии в рудообразовании. Обогащенность арбатских руд W и Mo, а руд месторождения Пологового Te (рис. 2) может указывать на участие в рудообразовании магматического флюида (Kun et al., 2014).

Известно, что гидротермальные флюиды, обогащенные Cl, эффективно концентрируют легкие РЗЭ, но бедны тяжелыми РЗЭ, так что значения отношений Hf/Sm, Nb/La и Th/La, как правило, меньше, чем 1; а флюиды, обогащенные F, синхронно концентрируют легкие и тяжелые РЗЭ, у которых значения Hf/Sm, Nb/La и Th/La обычно больше чем 1 (Oreskes, Einaudi, 1990). По аналитическим данным, руды изученных месторождений явно обогащены легкими- и обеднены тяжелыми РЗЭ (рис. 3), со значениями Hf/Sm, Nb/La и Th/La значительно меньше 1. Таким образом, можно заключить, что рудообразующие флюиды принадлежали NaCl–H₂O гидротермальной системе, обогащенной Cl относительно F.

Величина отношения Co/Ni в рудах не превышает 0.2, что характерно для гидротермальных флюидов низкотемпературных гидротермальных флюидов метеорного происхождения (Kun et al., 2014).

Возможность, эффективного использования отношения Y/No для оценки происхождения рудообразующих флюидов показано в работах (Jones, Manning, 1994; Monecke et al., 2002). В изученных рудах значения отношения Y/No в среднем составляет 32 и попадает в диапазон отношений, характерных для современных гидротермальных флюидов задуговых бассейнов (Jones, Manning, 1994; Monecke et al., 2002).

Состав и нормированные на хондрит спектры РЗЭ руд месторождения Пологое показаны на рисунке 3а. Аналитические данные позволили установить, что сумма РЗЭ в рудах в несколько раз ниже, чем в хондритах и верхней коре (Тейлор, Мак-Леннан, 1988). В спектре РЗЭ изученных руд преобладают легкие «гидрофильные» лантаноиды «цериевой» группы (Жариков и др. 1999; Минеев, 1974).

Нормированные на хондрит – РЗЭ руд образуют слегка наклонные спектры (за исключением пробы пол-471 – кварц-сульфидная жила), которые явно обогащены легкими РЗЭ и обеднены тяже-

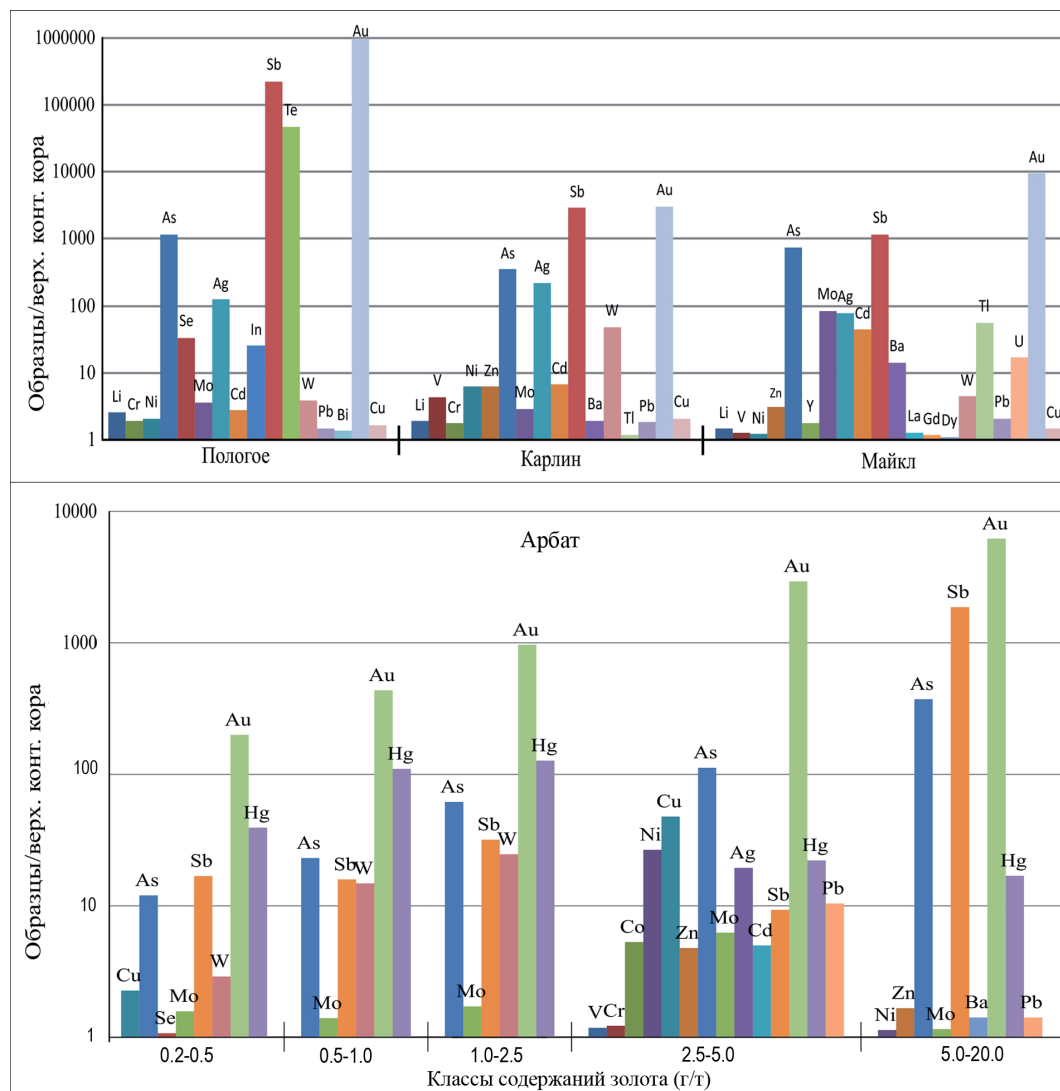


Рис. 2. Микроэлементы в рудах Au–Hg месторождений Калычанской металлогенической зоны (Пологое, Арбат) и Карлинского тренда (Карлин, Майкл), нормированные по отношению к средним значениям для верхней коры (Тейлор, Мак-Леннан, 1988).

Fig. 2. Trace elements in the ores of the Au–Hg deposits of the Kalychan metallogenic zone (Pologoe, Arbat) and the Carlin trend (Carlin, Meikle), normalized with respect to the average values for the upper crust (Taylor, McLennan, 1988).

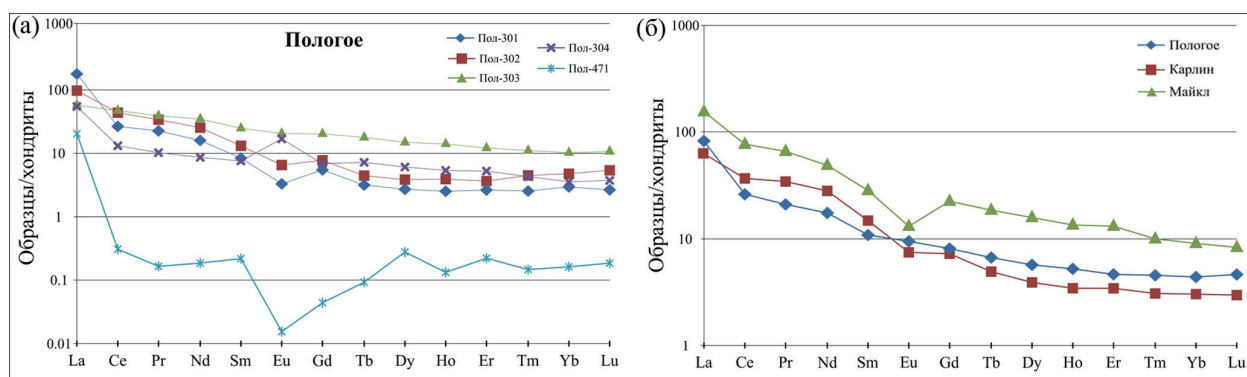


Рис. 3. Распределение РЗЭ в рудах: а – месторождения Пологое (Калычанская зона и б – Карлинского тренда (Карлин, Майкл), нормированных по хондритам (McDonough, Sun, 1995).

Fig. 3. Distribution of REE in ores: a – Pologoe deposit (Kalychan zone) and b – Carlin trend (Carlin, Meikle), normalized by chondrites (McDonough, Sun, 1995).

лыми РЗЭ (рис. 3 а). В жильных рудах (пол-471) содержание РЗЭ резко падает, синхронно с уменьшением породообразующих составляющих руд и привнесом гидротермальной минерализации. В среднем содержание РЗЭ в рудах составляет 52.59×10^{-6} . Обогащенность спектра легкими РЗЭ ($La_N/Yb_N = 44.57$, $\sum LREE/\sum HREE = 16.15$) сопровождается пологим спектром HREE ($Gd_N/Yb_N = 1.55$).

Eu и Ce аномалии рассматриваются как маркеры окислительно-восстановительной среды. В рудах месторождения Пологое установлены отрицательные аномалии ($\delta Ce = 0.44$) и ($\delta Eu = 0.79$), указывающие на кислую среду рудоотложения (Kun et al., 2014).

Заключение

В заключении отметим, что изученные геохимические особенности поведения микроэлементов и РЗЭ в рудах позволяют сделать ряд выводов. Полученные результаты указывают на связь рудообразования с метасоматическими изменениями вмещающих карбонатно-терригенных толщ, которые могли служить основным источником микроэлементов и РЗЭ для рудообразующих флюидов.

Руды изученных месторождений Калычанской зоны и Карлинского тренда (Карлин и Майкл) характеризуются сходным набором геохимических индикаторов: Au, As, Hg, Sb (рис. 2). Вместе с тем, калычанские руды заметно обеднены Tl и Ba (рис. 2).

В рудах месторождения Пологое выявлены отрицательные аномалии европия и низкие концентрации суммы редкоземельных элементов, что характерно для метаморфогенных флюидов (Monecke et al., 2002). Обогащенность W, Mo и Te говорит об участии в рудообразовании магматического флюида, который мог накладываться на раннюю метаморфогенную минерализацию.

Наклонные и пологие участки спектра РЗЭ руд месторождения Пологое сходны с таковыми для руд месторождений Карлинского тренда (рис. 3 б). Полученные результаты корреспондируют с метаморфогено-магматогенной моделью формирования МЗКТ (Muntean, et al., 2011). Приведенная в статье информация имеет большое значение для региональных прогнозно-металлогенических построений, поисков и оценки месторождений золота.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-05-70001, Ресурсы Арктики).

Литература

1. Волков А.В. Сидоров А.А. Геолого-генетическая модель месторождений золота Карлинского типа // Литосфера. 2016. № 6. С. 145–165.
2. Волков А.В., Галямов А.Л. Геофизическая модель земной коры, геодинамические обстановки и перспективы открытия месторождений золота Карлинского типа в арктической зоне Республики Саха (Якутия) // Арктика: Экономика и Экология. 2020. Т. 37. № 1. С. 82–94.
3. Жариков В.А., Горбачев Н.С., Латфутт П. и др. Распределение редкоземельных элементов и иттрия между флюидом и базальтовым расплавом при давлениях 1–12 кбар (по экспериментальным данным) // ДАН. 1999. Т. 366. № 2. С. 239–241.

4. Егоров А.Ю. Золотое оруденение карлинского типа на северной и восточной окраинах сибирской платформы // Региональная геология и металлогения. 2006. № 27. С. 88–102.
5. Минеев Д.А. Лантаноиды в рудах редкоземельных и комплексных месторождений. М. Изд-во: Наука. 1974. 237 с.
6. Поспелов И.И., Буянкин А.Г., Краснов А.Н. Геодинамические условия формирования и перспективы поисков золоторудных месторождений типа Карлин в северо-восточной Якутии // Вестник Госкомгеологии РС(Я). 2002. № 2. С. 14–18.
7. Суплецов В.М., Оксман В.С. Золотортутные месторождения невадийского типа в карбонатных породах Сакынджинского рудного узла (Якутия) // Отеч. Геология. 2000. № 5. С. 10–15.
8. Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. М. Изд-во: Мир. 1988. 384 с.
9. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) // Под ред. Л.М. Парфенова, М.И. Кузьмина. М. Изд-во: МАИК «Наука/Интерпериодика». 2001. 571 с.
10. Третьяков Ф.Ф., Прокопьев А.В., Васильев Д.А. Тектонические условия образования структур Сакынджинского рудного района (Селенняхский кряж, Восточная Якутия) // Отечественная геология. 2013. № 5. С. 58–67.
11. Jones B., Manning D.A.C. Comparison of geochemical indices used for the interpretation of palaeoredox conditions in ancient mudstones // Chem. Geol. 1994. V. 111. P. 111–129.
12. Kun L., Ruidong Y., Wenyong Ch. et al. Trace element and REE geochemistry of the Zhewang gold deposit, southeastern Guizhou Province, China // Chin. J. Geochem. 2014. V. 33. P. 109–118.
13. McDonough W.F., Sun S.S. The Composition of the Earth // Chemical Geology. 1995. Vol. 120. P. 223–253.
14. Monecke T., Kempe U., Gotze J. Genetic significance of the trace element content in metamorphic and hydrothermal quartz: a reconnaissance study // Earth. Planet. Sci. Lett. 2002. V. 202. P. 709–724.
15. Muntean J.L., Cline J.S., Simon A.C., Longo A.A. Magmatic hydrothermal origin of Nevada's Carlin-type gold deposits // Nature Geosc. 2011. № 4. P. 122–127.
16. Oreskes N., Einaudi M.T. Origin of rare-earth element enriched hematite breccias at the Olympic Dam Cu-U-Au-Ag deposit, Roxby Downs, South Australia. // Econ. Geol. 1990. V. 85. № 1. P. 1–28.