



МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ И ЗОНАЛЬНОСТЬ ОРУДЕНЕНИЯ ЛУГОКАНСКОГО РУДНОГО УЗЛА (ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

Ю. О. Редин, Ю. А. Калинин, П. А. Неволько, М. В. Кириллов, В. В. Колпаков

Рассмотрены основные особенности геологического строения, последовательность формирования минеральных ассоциаций и зональность оруденения Лугоканского рудного узла (Восточное Забайкалье). Здесь на небольшой площади совмещены три месторождения: Лугоканское, Серебряное и Солонеченское. Эндогенная зональность выражается в латеральной смене многоэтапного высокотемпературного скарнового и золотосульфидно-кварцевого оруденения на среднетемпературное золотополиметаллическое и низкотемпературное эпitherмальное золотосеребряное, сурьмяное и ртутное. Отражение зональности – последовательное снижение в рудах от центральной части рудного узла к его флангам доли высоко- и среднетемпературных минеральных ассоциаций, а также уменьшение в этом же направлении проявления позднеюрского магматизма. Выделено пять золотоносных минеральных ассоциаций (от ранних к поздним): золотохалькопиритовая – золотопирит-арсенопиритовая – золотополиметаллическая – золотовисмутовая – золотосеребряная, а также сурьмяная и ртутная. Приводятся новые данные по составу самородного золота, рудных минералов, изотопному составу серы в сульфидах. На основании анализа геологического строения, минерального состава руд, изотопно-геохронологических исследований показана полиформационная природа оруденения Лугоканского рудного узла.

Ключевые слова: золотое оруденение, минеральные ассоциации, эндогенная зональность, Восточное Забайкалье.

MINERAL ASSEMBLAGES AND ZONATION OF THE LUGOKANSKIY ORE CLUSTER MINERALIZATION (EASTERN TRANSBAIKALIA)

Yu. O. Redin, Yu. A. Kalinin, P. A. Nevolko, M. V. Kirillov, V. V. Kolpakov

The paper discusses the main geological features, the formation sequence of mineral assemblages, and zonation of the Lugokanskiy ore cluster mineralization (Eastern Transbaikalia). There are three deposits which coincide within the small area: Lukoganskoye, Serebryanoye, and Solonechenskoye. Endogenous zonation is represented in lateral change of multistage high-temperature skarn and gold-sulphide-quartz mineralization by medium-temperature gold-polymetallic and low-temperature epithermal gold-silver, antimony, and mercury mineralization. The zonation shows up in a gradual decrease in proportion of high- and medium-temperature assemblages from the central part of the ore cluster to its borders along with declining Late Jurassic magmatism. Five gold-bearing mineral assemblages have been distinguished (earlier to latter): gold-chalcopyrite – gold-pyrite and arsenopyrite – gold-polymetallic – gold-bismuth – gold-silver, antimony, and mercury ones. New data are given on composition of native gold and ore minerals, isotope composition of sulphur in sulphides. Analysis of geological structure, mineral composition of ores, and isotope geochronological studies has indicated that mineralization within the Lukoganskiy ore cluster is polymorphic.

Keywords: gold mineralization, mineral assemblages, endogenous zonation, Eastern Transbaikalia.

В Восточном Забайкалье известны многочисленные месторождения и рудопроявления золота различной формационной принадлежности, сложенные самостоятельными, часто оторванными по времени формирования, но совмещенными в пространстве минеральными ассоциациями. Лугоканский рудный узел – редкий пример совмещения разных типов оруденения на небольшой площади. Он включает в себя три месторождения: Лугоканское, Серебряное (в 7 км южнее), Солонеченское (еще в 3,5 км южнее).

Отчетливо проявляется латеральная рудно-метасоматическая зональность: Лугоканское месторождение золотомедных руд, наложенных на среднетемпературные скарны, пропилиты и высокотемпературные березиты – золотокварц-полисульфидное Серебряное месторождение с его

высоко- и средне-низкотемпературным кислотным метасоматозом – Солонеченское сурьмяное золотосодержащее месторождение с низкотемпературным кислотным метасоматозом (джаспероиды) [8].

Здесь отмечен полный ряд минеральных ассоциаций, характерных для большинства золоторудных и комплексных месторождений Восточного Забайкалья. Общая последовательность рудообразования включает в себя минеральные ассоциации (от ранних к поздним): молибденитовую – магнетитовую – золотохалькопиритовую – золотопирит-арсенопиритовую – золотополиметаллическую – золотовисмутовую – золотосеребряную – сурьмяную – мышьяковую – ртутную. На основании изучения геологического строения, минерального состава руд, изотопно-геохронологических иссле-



дований показана полиформационная природа оруденения Лугоканского рудного узла.

Геологическое строение Лугоканского рудного узла

В региональном плане Лугоканский рудный узел расположен в междуречье Аргунь – Шилка, на северо-востоке Аргунского террейна, являющегося составной частью Монголо-Охотской складчатой системы (рис. 1). Главные структуры района – Газимуровское антиклинорное поднятие, одноименная мобильная зона и Урово-Джалирский разлом (рис. 2). Газимуровское поднятие сложено главным образом карбонатно-терригенными отложениями нижнего (быстринская свита, E_{1bs}) и среднего палеозоя (яковлевская свита, D_{2-3jak}), сильно осложнено многочисленными разломами и гранитоидным магматизмом. Газимуровская мобильная зона северо-восточного простирания представлена сложной системой сопряженных глубинных разломов (Аэмканский, Северо-Солонеченский, Сивачинский, Солонеченский). По кинематике большинство разломов представляют собой взбросо-надвиги и сбросы. Время заложения большинства разломов, в том числе и главных, по данным предшественников, – позднеюрское-раннемеловое, соответствующее коллизионному и постколлизионному этапам развития Монголо-Охотской складчатой области.

Магматические образования Лугоканского рудного узла представлены позднепалеозойски-

ми (раннепермскими) порфировидными гранитами ундинского комплекса, развитыми на флангах рудного узла, и позднемезозойскими шахтаминским, кукульбейским интрузивными комплексами. С мезозойскими интрузивными комплексами связано подавляющее количество известных в регионе месторождений цветных, редких и благородных металлов [12, 14]. На Лугоканском и Серебряном месторождениях развиты породы шахтаминского комплекса, становление которого произошло за две фазы внедрения. К первой фазе относится крупное силлообразное тело гранодиорит-порфиров, которое размещается в центральной части рудного узла. Вторая фаза внедрения представлена силло- и дайкообразными телами плагиогранит-, диорит-, гранодиорит- и монцонит-порфиров, развитых преимущественно на Серебряном месторождении, расположенном в центральной части рудного узла. Монцитонитоиды характеризуются общей щелочностью 5–7 % и содержанием кремнезема 52–58 %.

Многочисленные определения возраста пород шахтаминского комплекса К-Аг методом отвечают интервалу 167–155 млн лет [4]. Это подтверждается и нашими данными: возраст монцитонит-порфиров Серебряного месторождения, относимых к шахтаминскому комплексу, определенный Ar^{39}/Ar^{40} методом (плато) по высокотитанистому биотиту (Ti 3,5–4 %), составляет 154,6 млн лет.

Лугоканский рудный узел формировался на протяжении средне-позднеюрской и раннеме-

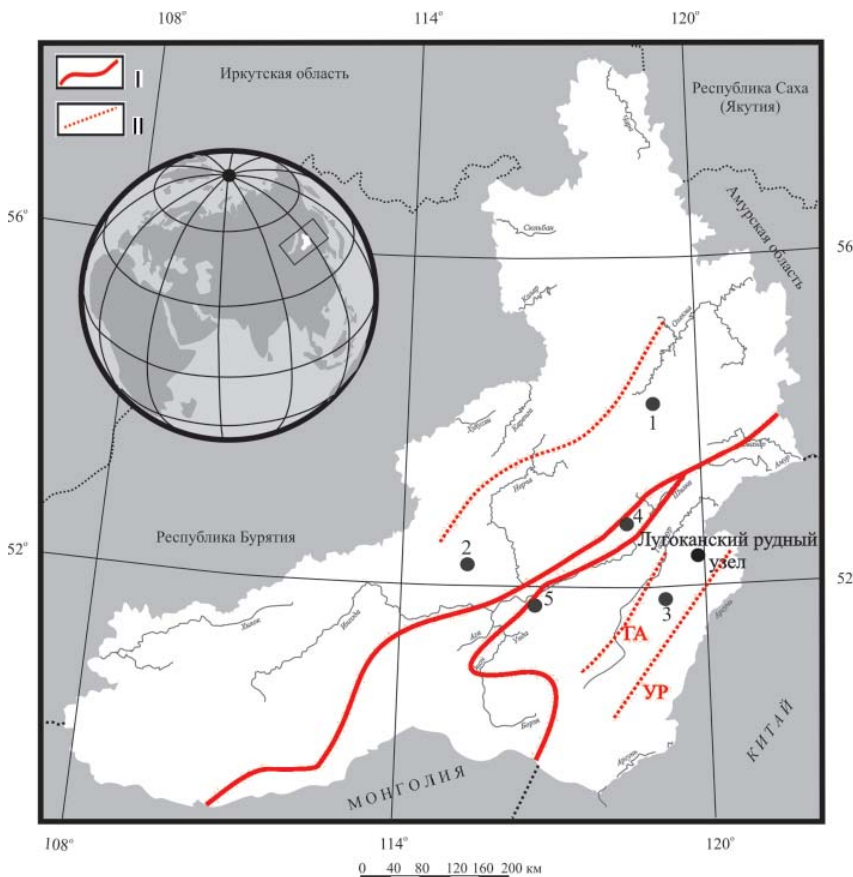


Рис. 1. Региональное положение Лугоканского рудного узла

Месторождения: 1 – Итакинское, 2 – Дарасунское, 3 – Новоширокинское, 4 – Карийское, 5 – Балейское; разломы, возникшие либо обновленные во время коллизии: ГА – Газимуровский, УР – Урулюнгуевский; I – Монголо-Охотская сутура; II – надвиги и сбросы

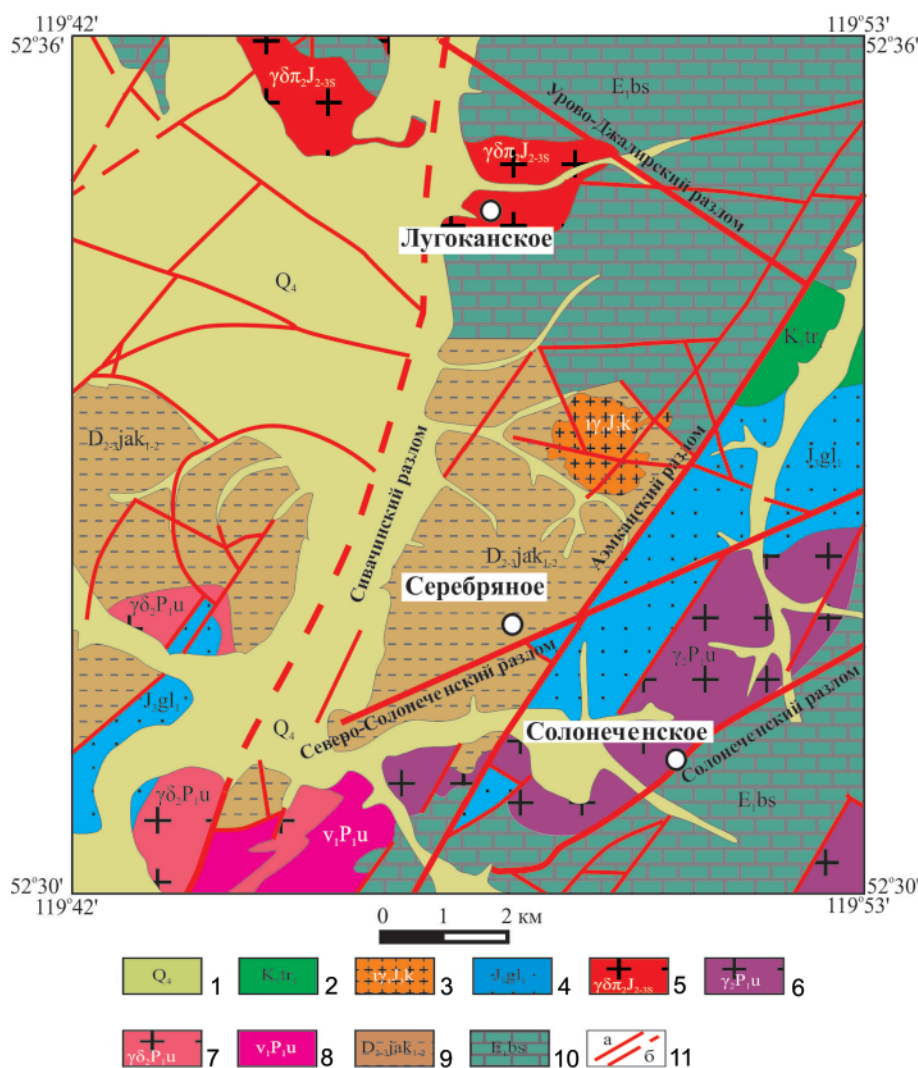


Рис. 2. Геологическая карта Лугоканского рудного узла (составлена на основе карты полезных ископаемых м-ба 1:200 000)

1 – четвертичные отложения; 2 – тургинская свита, конгломераты; 3 – кукульбейский комплекс, лейкограниты; 4 – глушковская свита, конгломераты, песчаники, алевролиты, лавы; 5 – шахтаминский комплекс, гранодиорит-порфиры; 6–8 – ундинский комплекс; 6 – среднезернистые граниты; 7 – гранодиориты, 8 – габбро, диориты; 9 – яковлевская свита, песчаники, алевролиты, известняки; 10 – быстринская свита, известняки, доломиты; 11 – разрывные нарушения: а – достоверные, б – предполагаемые

ловой эпох тектономагматической активизации. Средне-позднеюрский этап отвечает коллизионному орогенезу, с которым связана большая часть проявлений золоторудной минерализации в Восточном Забайкалье. Породы, вмещающие надвиговые зоны, служили наиболее благоприятным субстратом как для рудопродуцирующих магматических расплавов, так и для золотоносных флюидов. Переход к растяжению относится к концу поздней юры – раннему мелу. С этим этапом связывают формирование Балейского, Тасеевского и других эпитермальных золоторудных месторождений [12]. Тектонические события на рубеже юры и мела сыграли главную роль в формировании различных типов оруденения как для всего Забайкалья, так и для Лугоканского рудного узла в частности.

Методы исследования

Изучались образцы руд, отобранных по каналам и буровым скважинам месторождений. Минеральный состав, текстурные, структурные особенности, взаимоотношения минеральных индивидов между собой исследовались под оптическим микроскопом в отраженном и проходящем свете. Мономинеральные фракции арсенопирита,

пирита и других сульфидов отбирались под бинокуляром из протолок и сульфидных концентратов, в том числе полученных при растворении образцов в плавиковой кислоте. Химический состав сульфидов анализировался в полированных шашках микрорентгеноспектральным методом на приборе JEOL JXA-8100, а также с помощью сканирующей электронной микроскопии (SEM) на приборе JSM-6510, снабженном энерго-дисперсионным спектрометром (EDS) фирмы OXFORD. Содержание золота в сульфидах определялось атомно-абсорбционным методом, ICP-MS (масс-спектрометр с индуктивно связанной плазмой) и LA-ICP-MS (лазерная абляция на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой). Изотопный состав серы в сульфидных минералах и все перечисленные виды анализов выполнены в Аналитическом центре ИГМ СО РАН (Новосибирск).

Вещественный состав руд и последовательность минералообразования Лугоканского рудного узла

В металлогеническом отношении Лугоканский рудный узел входит в состав Будюмканско-Култуминского рудного района, расположенного

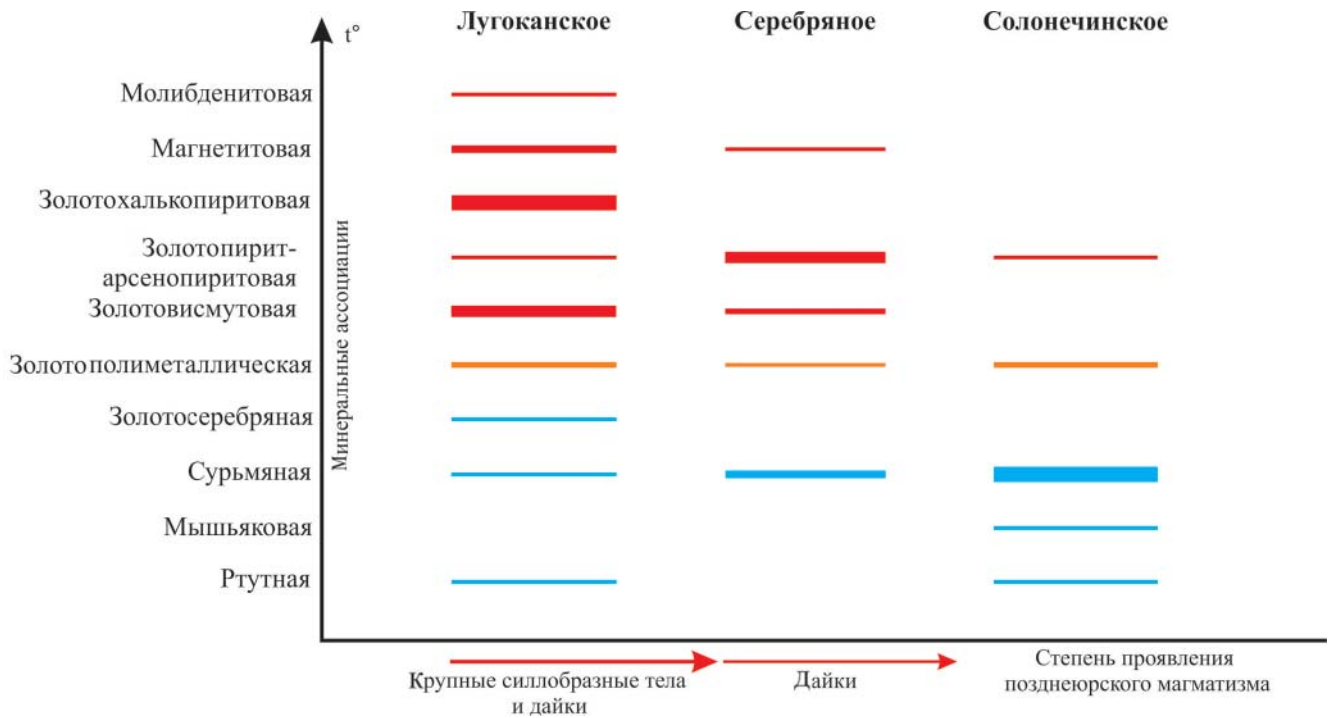


Рис. 3. Интенсивность проявления различных минеральных ассоциаций Лугоканского рудного узла (толщина линии отражает интенсивность проявления)

на северо-восточном окончании Лугокан-Бугдаинской рудной зоны. Лугоканское месторождение слагает центральную часть одноименного рудного узла, южнее находятся Серебряное и Солонечинское.

Руды Лугоканского рудного узла образованы вследствие многостадийного поступления рудообразующих растворов с выделением разновременных минеральных парагенезисов. Различия в интенсивности проявления разных минеральных ассоциаций на месторождениях обусловлено двумя факторами: тектоническим и магматическим (рис. 3).

К наиболее ранним и высокотемпературным стадиям минералообразования относятся молибденитовая, магнетитовая, золотохалькопиритовая и золотопирит-арсенопиритовая минеральные ассоциации.

Молибденит наблюдается только на Лугоканском месторождении в виде чешуек, пластинок и их скоплений преимущественно в окварцованных гранодиорит-порфирах. С внедрением интрузивных тел шахтаминского комплекса связано формирование скарнов с **магнетитовой минерализацией**, наиболее широко распространенных на Лугоканском и в меньшей степени на Серебряном месторождении. Магнетит ассоциирует с актинолитом, эпидотом, хлоритом и гранатом. По магнетиту развивается гематит с образованием пятнистых, прожилковых, псевдоморфных и реликтовых структур. **Золотохалькопиритовая минеральная ассоциация** представлена наиболее высокопробным самородным золотом (910 ‰, Hg 0,35 %) (рис. 5, а) с пирротинотом и халькопиритом, содержащим сфалерит как продукт

распада твердого раствора. Наличие звездчатых продуктов распада твердого раствора сфалерита в халькопирите свидетельствует об образовании последнего в условия высоких температур [10]. Золотохалькопиритовая ассоциация накладывается на известковые скарны. Подобного типа минерализация отмечена на Култуминском, Шахтаминском и Жирекенском месторождениях. На генетическую связь ранних высокотемпературных минеральных ассоциаций с гранитоидами шахтаминского комплекса указывает близкий возраст формирования молибденитовой и золоторудной минерализации. Так, на Шахтаминском и Жирекенском месторождениях время их формирования 168–158 млн лет, возраст пород шахтаминского комплекса 167–155 млн лет [2].

Золотопирит-арсенопиритовая минеральная ассоциация выражена на всех трех месторождениях. Главные рудные минералы – пирит и арсенопирит. Пирит представлен катаклазированными агрегатами, трещины и межзерновое пространство которых залечиваются тонкопризматическим арсенопиритом. Арсенопирит относится к сернистой разновидности ($S/As > 1$). Локально в арсенопиритах отмечены максимумы концентрации других элементов-примесей (%): Co 0,5; Ni 0,1; Au 0,08. Золото наблюдалось в виде как отдельных зерен изометрической формы, так и скоплений зерен неправильной формы в трещинах и сростаниях с пиритом и арсенопиритом (рис. 4). Пробность золота 890–960 ‰.

В составе среднетемпературной стадии минералообразования выделяются золотополиметаллическая и золотовисмутовая минеральные ассоциации.

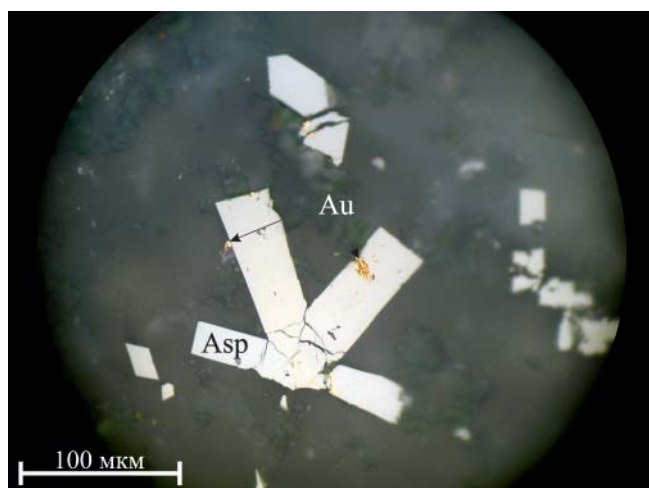


Рис. 4. Самородное золото в сростании с арсенопиритом

Золотополиметаллическая минеральная ассоциация наиболее широко проявлена на Лугоканском и Серебряном месторождениях. Она представлена самородным золотом, галенитом (Bi до 1 %, Ag до 0,1 %), сфалеритом, блеклой рудой, халькопиритом, которые образуют вкрапленность и прожилки в интенсивно брекчированных и катаклазированных породах. Галенит с примесью серебра и висмута обнаружен и на контактах, и в дайках монзонит-порфиров. Самородное золото встречено в сростаниях с галенитом (без примесей) и сфалеритом, имеет пробность 800–860 ‰ (примесь ртути до 0,6 ‰). Форма выделений золота округлая или неправильная с ровными границами, цвет светло-желтый, размеры 1–20 мкм. Золотополиметаллическая ассоциация отмечена на многих золоторудных месторождениях Восточного Забайкалья (Дарасунском, Лугинском, Новоширокинском и др.), где ее возраст 158,5–156,7 млн лет [2].

Золотовисмутовая минеральная ассоциация образовалась на заключительных этапах формирования золотополиметаллической. В ее составе можно выделить два подтипа парагенезиса (рис. 5): золотовисмут-теллуридный и золотовисмут-медный. Первый подтип отмечен на Серебряном месторождении и представлен висмутином и жозеитом В ($\text{Bi}_4\text{Te}_2\text{S}$), сульфоцумоитом ($\text{Bi}_3\text{Te}_2\text{S}$), теллуридом висмута, мальдонитом (Au_2Bi), самородным висмутом, самородным золотом. В монзонит-порфирах установлено соединение PbBiS в виде неправильных выделений. Минерал светло-серый с розоватым оттенком, характеризуется высокой отражательной способностью и отчетливой анизотропией. По химическому составу близок к гиссениту и бурсаиту (Bi 30 %, Pb 46 %, Sb 7 %, Ag 2 %, Cu 1 %, S 15 %). Отличительная особенность руд – тонкодисперсный характер распределения золота в сульфидах. Пробность золота 730–820 ‰ (Hg до 0,6 ‰). Минералы висмута представлены в основном сульфотеллуридами и теллуридами висмута, которые образуют

мелкокристаллические выделения, тяготеющие к микротрещинам или микропорам в арсенопирите. С помощью LA-ICP-MS была установлена положительная корреляция золота и висмута при $\text{Bi}/\text{Au} = 3$. Наиболее высокие концентрации золота (1700 г/т) приурочены к местам с высокими содержаниями висмута (до 5000 г/т) [11]. Генетическая связь золотовисмутовых месторождений с интрузивными комплексами кислого и среднего состава установлена в результате исследований Г. Н. Гамянина, Н. А. Горячева и др. [3, 5]. Этот вывод подтверждается и нашими наблюдениями. Так, рудные зоны с золотовисмутовой минеральной ассоциацией находятся как в самих дайках монзонит-порфиров, так и на контактах с ними.

Второй подтип проявлен на Лугоканском месторождении и представлен (см. рис. 5): самородным золотом средней пробности (750–890 ‰) в ассоциации с висмутином, арсенопиритом, эмплектитом (CuBiS_2), виттихенитом (Cu_3BiS_3), соучекитом ($\text{PbCuBi}(\text{S},\text{Se})_3$), козалитом ($\text{Pb}_2\text{Bi}_2\text{S}_5$), ширмеритом ($\text{Ag}_4\text{PbBi}_4\text{S}_9$), галенитом и самородным висмутом. В висмутине в виде включений в микротрещинах отмечается гессит. Золото находится в сростках и в виде включений в виттихените, эмплектите, соучеките, козалите, ширмерите.

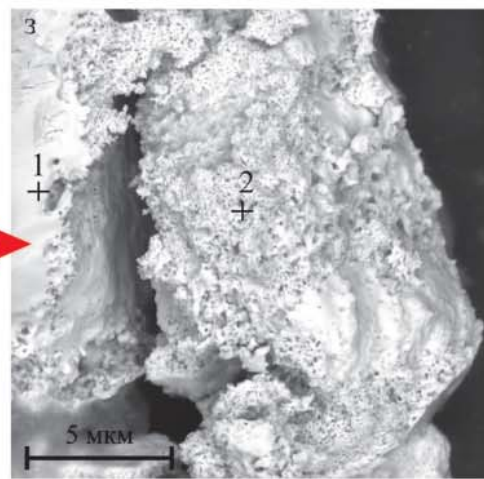
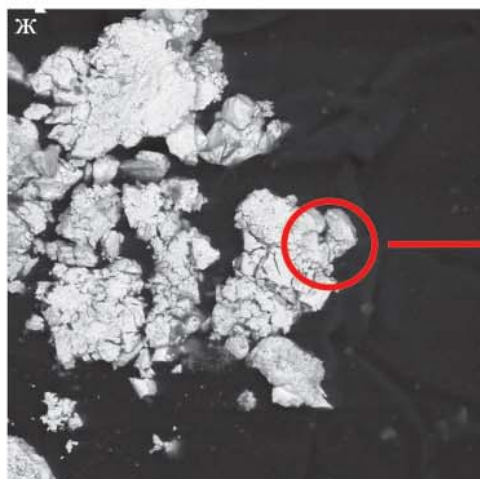
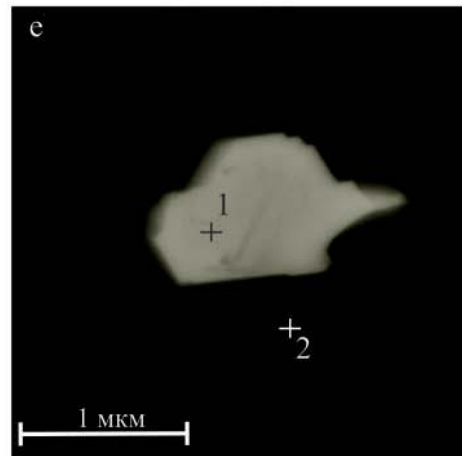
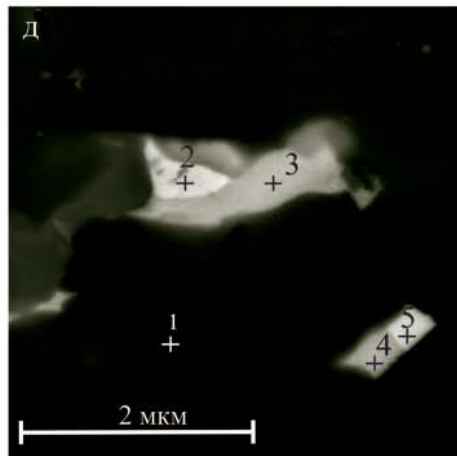
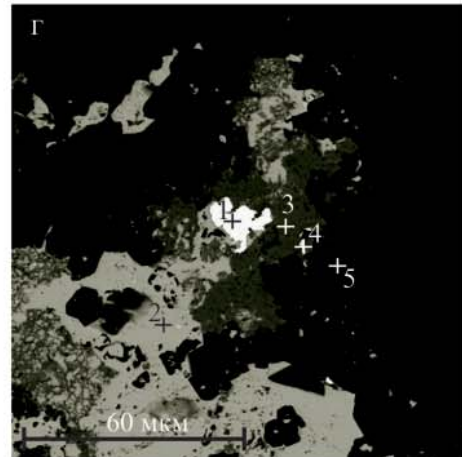
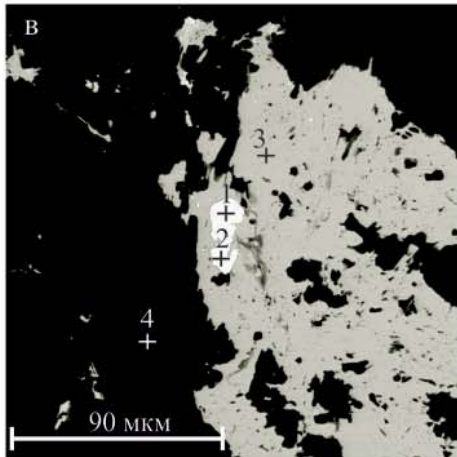
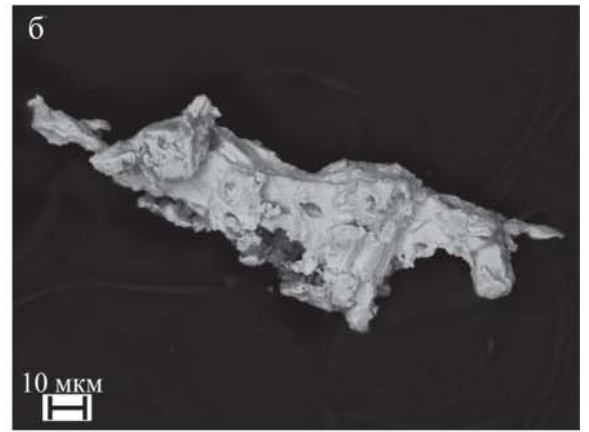
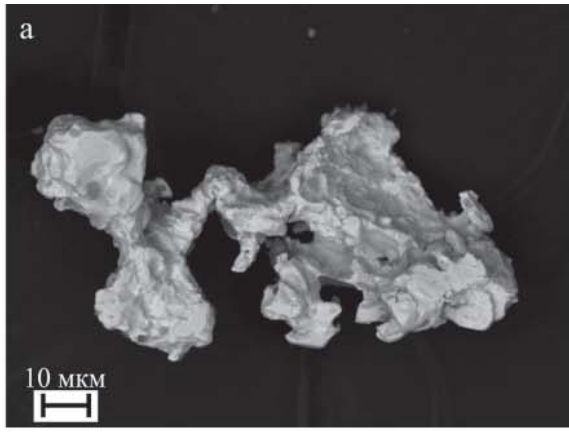
Арсенопирит **золотовисмутовой минеральной ассоциации** (Лугоканское и Серебряное месторождения) представлен катаклазированными идиоморфными кристаллами и относится к мышьяковистой разновидности ($\text{As}/\text{S} > 1$). Локальные концентрации других элементов-примесей в отдельных точках достигают: Ni 0,1; Co 0,05; Sb 0,4; Au 0,179 %.

Степень выраженности высокотемпературных и среднетемпературных минеральных ассоциаций обусловлена, в первую очередь, их генетической связью с позднеюрским магматизмом.

Общая закономерность состоит в том, что по мере удаления от центральной части рудного поля к его периферии степень проявленности ранних высоко- и среднетемпературных ассоциаций уменьшается. В этом направлении снижается и интенсивность позднеюрского магматизма: на Лугоканском месторождении это крупное силлообразное тело гранодиорит-порфиров, на Серебряном – дайки диорит- и монзонит-порфиров, на Солонеченском месторождении позднеюрский магматизм отсутствует.

К наиболее поздним и низкотемпературным стадиям минералообразования относятся золотосеребряная, сурьмяная, ртутная и мышьяковая минеральные ассоциации.

Золотосеребряная минеральная ассоциация наблюдалась на Лугоканском месторождении, в образцах с поверхности месторождения, которые представляют собой сильно окисленные руды. Она представлена низкопробным золотом (электрум) (390–660 ‰, Hg до 2,2 ‰) и ртутьсо-



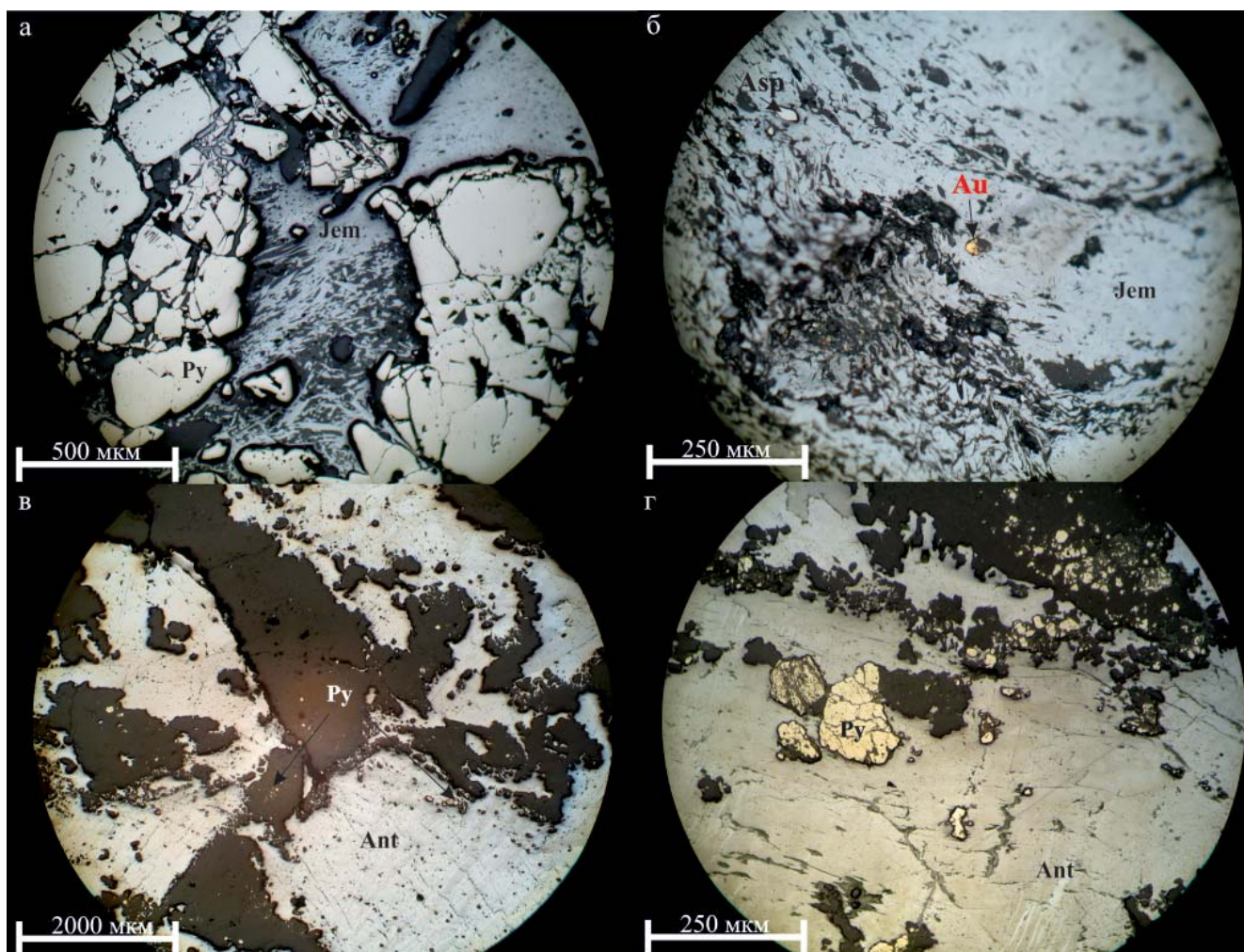


Рис. 6. Взаимоотношение сурьмяной минеральной ассоциации с ранними золоторудными ассоциациями: а – идиоморфные кристаллы пирита, сцементированные джемсонитом; б – наложение поздней сульфосолевой минерализации на золотопирит-арсенопиритовую; в–г – катаклазированные кристаллы пирита, сцементированные антимонитом

держащим (до 1 %) кюстелитом (см. рис. 5, б) с высоко- и среднепробным самородным золотом, самородным серебром и висмутом, арсенопиритом, пиритом, галенитом (Ag около 2 %), сульфосолями Sb и Pb, антимонитом, киноварью, хлораргиритом, акантитом, ковеллином, самородной медью (с примесью Sn до 15 %). Помимо высокортутистого электрума и кюстелита, наблюдалась природная амальгама золота (Hg до 50 %) (см. рис. 5, ж, з), что может быть объяснено наложением на раннюю золоторудную низкотемпературной ртутной минерализации. Эталонные объекты с золотосеребряной минерализацией – Балеysкое (возраст формирования золотосеребряной минерализации 150–143,6 млн лет [2]) и Тасеевское месторождения.

Сурьмяная минеральная ассоциация разной степени интенсивности проявлена на

всех трех месторождениях. Она представлена двумя парагенезисами: сульфосолевым и антимонитовым.

Сульфосолевым парагенезисом наиболее широко распространен на Серебряном месторождении, где представлен буланжеритом, джемсонитом, бурнонитом, менегинитом, робинсонитом. В пределах тектонических зон северо-восточного простирания сконцентрировано наиболее богатое сурьмяное оруденение, сопровождаемое интенсивной метасоматической проработкой пород. Брекчированные породы, как правило, имеют сульфидизированный цемент. В его составе господствуют буланжерит, джемсонит и бурнонит, которые цементируют катаклазированные зерна более ранних сульфидов (пирита, арсенопирита, сфалерита, галенита) (рис. 6, а). Характерная примесь для сульфосолей – мышьяк (до

Рис. 5. Самородное золото из различных парагенезисов

а – самородное золото (910 ‰); б – кюстелит (390 ‰); в – 1, 2 – самородное золото (890 ‰), 3 – эмплектит, 4 – кварц; г – 1, 4 – самородное золото (820 ‰), 2 – виттихенит, 3 – гетит, 5 – кварц; д – 1 – арсенопирит, 2, 5 – самородное золото (800–850 ‰), 3, 4 – жозеит В; е – 1 – мальдонит, 2 – арсенопирит; ж–з – природная амальгама золота, самородное золото: 1 – Hg ≈ 25–30 %, 2 – Hg до 50 %



2,5 %). Примесь висмута отмечается в буланжерите (до 1,75 %), наибольшие его концентрации установлены в менегините (до 10 %). Атомно-абсорбционным анализом в мономинеральных фракциях сульфосолей установлены повышенные содержания серебра (до 150 г/т) и золота (до 1 г/т). Наличие золота объясняется наложением поздней низкотемпературной сурьмяной минеральной ассоциации на раннюю золоторудную (см. рис. 6, б).

Антимонитовая минерализация представлена вкрапленными и гнездово-вкрапленными минерализованными зонами в джаспероидах на Солонеченском месторождении и редкой вкрапленностью на Серебряном и Лугоканском. Наиболее богатые сурьмяные рудные тела приурочены к зоне взбросо-надвига (Солонеченский разлом), контролирующей сурьмяное оруденение. Пластообразные тела джаспероидов формировались по субсогласным с напластованием зонам разломов. Рудные залежи локализуются в пластах и линзах интенсивно окварцованных брекчированных известняков, алевролитов, доломитов под экраном надвинутых на них гранитов. Главный рудный минерал – антимонит, образующий как плотные зернистые массы, так и скопления призматических кристаллов. Геологические и минераграфические наблюдения отчетливо показывают, что сурьмяное оруденение наложено на ранние золотосульфидные руды.

Антимонит – один из наиболее поздних рудных минералов – играет роль цемента в катаклазированных джаспероидах (см. рис. 6, в, г). Там, где поздняя антимонитовая минерализация наложена на ранние золотосульфидные руды, возникают комплексные золотосурьмяные рудные тела. Аналогичная ситуация характерна для многих крупных месторождений, где совмещены золотые и сурьмяные руды [6–8].

В мономинеральных фракциях антимонита (по данным атомно-абсорбционного анализа) максимальные концентрации золота составляют 0,1 г/т. Сурьмяная минеральная ассоциация – одна из наиболее распространенных на большинстве золоторудных месторождений Восточного Забайкалья [9]. Имеющиеся к настоящему времени изотопно-геохронологические данные свидетельствуют о том, что возраст ее формирования охватывает интервал 146–142 млн лет (Балейское месторождение) [2].

Степень проявленности сурьмяной минеральной ассоциации зависит в первую очередь от положения месторождения относительно главных рудоконтролирующих разломов северо-восточной ориентировки. Наиболее широко сурьмяная минерализация распространена на Солонеченском месторождении и приурочена непосредственно к надвиговой зоне северо-восточного простирания. На Лугоканском месторождении доминиру-

ют разрывные нарушения другого направления (северо-западного), вследствие чего сурьмяная минеральная ассоциация выражена фрагментарно. Серебряное месторождение занимает промежуточное положение и располагается между двумя крупными разломами северо-восточного простирания (Сивачинским и Северо-Солонеченским). Здесь оперяющие разломы более низких порядков служили зонами разгрузки низкотемпературных гидротермальных растворов, чем и обусловлено широкое распространение сурьмяной минеральной ассоциации.

Общая закономерность заключается и в том, что от центральной части рудного узла к его периферии меняется ориентировка главных разрывных нарушений: на Лугоканском месторождении – северо-западного направления, а на Солонеченском и Серебряном – северо-восточного. Следствием этого является постепенное возрастание доли сурьмяной минеральной ассоциации от центра рудного узла к его периферии.

Завершается рудный процесс формированием наиболее низкотемпературных мышьяковой и ртутной минерализаций (преимущественно на Солонеченском месторождении). **Мышьяковский парагенезис** проявлен очень локально и представлен в виде прожилков реальгара и аурипигмента, секущих антимонитовые агрегаты, **ртутная минерализация** – рассеянной вкрапленностью киновари.

Эволюция Лугоканской рудно-магматической системы проявляется в смене высокотемпературных минеральных ассоциаций эпитегрмальными (золотосеребряной и сурьмяно-ртутной), что от-

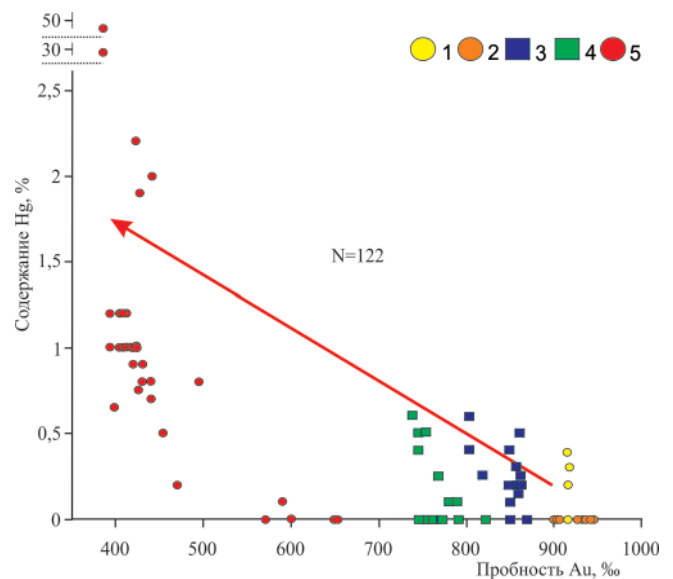


Рис. 7. Особенности состава самородного золота из различных минеральных ассоциаций Лугоканского рудного узла

Минеральные ассоциации: 1 – золотохалькопиритовая, 2 – золотопирит-арсенипиритовая, 3 – золотополиметаллическая, 4 – золотовисмутовая, 5 – золотосеребряная



Результаты изотопного анализа серы (аналитики В. Н. Реутский, М. Н. Колбасова, ИГМ СО РАН)

Минеральная ассоциация	Месторождение	Минерал	$\delta^{34}\text{S}, \text{‰ CDT}$
Золотохалькопиритовая	Лугоканское	Халькопирит	3,8
		«	4,1
Золотопирит-арсенопиритовая	Серебряное	Арсенопирит	4,6
		Пирит	4,4
		«	4,4
		«	4,6
		«	4,9
		Пирит + арсенопирит	4,4
Золотополиметаллическая	Серебряное	Сфалерит	2,0
Золотовисмутовая	Лугоканское	Арсенопирит	3,0
	Серебряное	«	3,0
		Пирротин	2,8
Сурьмяная	Серебряное	Ві менегинит	3,7
		Антимонит	4,1
		Бурнонит + буланжерит	4,4
		«	5,8
		«	3,9
	Солонеченское	«	4,1
		«	4,1
		«	5,2

ражается и в составе самородного золота. Отчетливо наблюдается тенденция: с понижением пробности золота (от до 910 до 390 ‰) от ранних высокотемпературных минеральных ассоциаций к поздним низкотемпературным возрастает ртутность золота (от 0,3 % Hg в золотомедных до 2,2 % Hg в золотосеребряных и сурьмяно-ртутных) (рис. 7).

Изотопный состав серы рудных минералов, приведенный в таблице, достаточно однороден и варьирует в диапазоне 2–5,8 ‰. Согласно исследованиям предшественников, такое незначительно утяжеление серы относительно метеоритного стандарта свидетельствует о глубинном эндогенном (мантийно-коровом) источнике серы рудных минералов. Незначительные вариации значений $\delta^{34}\text{S}$ в пределах месторождений и отдельных стадий свидетельствуют о **гомогенном (едином)** источнике серы рудного вещества как для собственно золотых, так и для сурьмяных руд.

Выводы

Лугоканский рудный узел – яркий пример эндогенной зональности, характерной для большинства комплексных золоторудных объектов Восточного Забайкалья. Он представляет собой локальную рудно-магматическую систему, имеющую общий источник рудного вещества и объединяющую несколько разных по масштабам месторождений. Эндогенная зональность выражается в последовательной смене многоэтапного высокотемпературного скарнового и золотосульфидно-кварцевого оруденения на низкотемпературное эпitherмальное золотосеребряное, сурьмяное и ртутное. Это проявляется как в последовательном сокращении в рудах доли высоко- и среднетемпературных минеральных ассоциаций от центральной части рудного узла к его флангам, так и в снижении проявления позднеюрского магматизма, в результате чего на флангах рудного узла отсутствуют зо-

лотохалькопиритовая и золотовисмутовая минеральные ассоциации.

Идеализированную модель формирования Лугоканского рудного узла можно представить в следующем виде. В поздней юре в условиях сжатия сформировались главные тектонические зоны, по которым внедрялись рудопроизводящие интрузивные образования Шахтаминского комплекса. С ними связано формирование ранних высокотемпературных ассоциаций (молибденитовой, магнетитовой, золотохалькопиритовой). Затем в связи с вновь проявленной тектонической деятельностью формируется золотопирит-арсенопиритовая минеральная ассоциация, по ослабленным зонам внедряются дайки Шахтаминского комплекса, в результате чего образуются золотополиметаллическая и золотовисмутовая минеральные ассоциации. В конце юры – начале мела в обстановках растяжения формируется эпitherмальное золотосеребряное, сурьмяное, мышьяковое и ртутное оруденение.

Наличие таких полиформационных типов месторождений в структурах активизированной континентальной коры Забайкалья нацеливает на поиски подобных месторождений в сходных типах земной коры Алтае-Саянской складчатой области [1].

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (№13-05-00998) и неоценимой помощи руководства и геологов ООО «Востокгеология».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Алабин, Л. В.** Металлогения золота Кузнецкого Алатау [Текст] / Л. В. Алабин, Ю. А. Калинин. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1999. – 237 с.

2. **Возрастные** рубежи формирования золотого оруденения Восточного Забайкалья [Текст] / А. С. Борисенко, С. М. Жмодик, Е. А. Наумов [и др.] // Самородное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследова-



ний : Матер. Всерос. науч. конф. – М. : ИГЕМ РАН, 2010. – С. 82–83.

3. **Гамянин, Г. Н.** Золоторедкометалльные месторождения Северо-Востока России [Текст] / Г. Н. Гамянин, В. И. Гончаров, Н. А. Горячев // Тихоокеанская геология. – 1998. – Т. 17, № 3. – С. 94–103.

4. **Геологическое** строение Читинской области : Объяснительная записка к Геологической карте масштаба 1:500 000 [Текст] / Отв. ред. И. Г. Рутштейн, Н. Н. Чабан. – Чита, ГГУП «Читагеолсъемка», 1997. – 239 с.

5. **Горячев, Н. А.** Золотовисмутовые (золоторедкометалльные) месторождения Северо-Востока России: типы и перспективы промышленного освоения [Текст] / Н. А. Горячев, Г. Н. Гамянин // Золоторудные месторождения Востока России : Тр. III Всерос. симп. «Золото Сибири и Дальнего Востока». – Магадан : СВНЦ ДВО РАН, 2006. – С. 50–63.

6. **Золотосурьмяные** месторождения Сарылах и Сентачан (Саха-Якутия): пример совмещения мезотермальных кварцевых и эпитермальных антимонитовых руд [Текст] / Н. С. Бортников, Г. Н. Гамянин, О. В. Викентьева [и др.] // Геология рудных месторождений. – 2010. – Т. 52, № 5. – С. 381–417.

7. **Индолев, Л. Н.** Сурьмяное оруденение Верхояно-Колымской провинции [Текст] / Л. Н. Индолев, Ю. Я. Жданов, В. М. Суплецов. – Новосибирск : Наука, 1980. – 232 с.

8. **Козлова, В. М.** Особенности метасоматоза и вещественный состав руд рудопроявления Се-

ребряное (Лугоканский рудный узел, Восточное Забайкалье) [Текст] / В. М. Козлова, А. А. Федорова, Н. Е. Чернышева. // Геология и минералогия Забайкалья : Сб. докладов и статей к науч.-практ. конф., посвящ. 60-летию ФУГП «Читагеолсъемка». – Чита : ЗабГГПУ, 2010. – С. 192–200.

9. **Павленко, Ю. В.** Восточно-Забайкальская сурьмяная провинция [Текст] / Ю. В. Павленко, О. А. Поляков // Вестн. ЧитГУ. – 2010. – № 9(66). – С. 77–84.

10. **Рамдор, П.** Рудные минералы и их сростания [Текст] / П. Рамдор. – М. : ИЛ, 1962. – 1119 с.

11. **Редин, Ю. О.** Типоморфные особенности и золотоносность арсенопиритов Серебряного месторождения (Восточное Забайкалье) [Текст] / Ю. О. Редин // Минералогия Северо-Восточной Азии : Матер. III Всерос. науч.-практ. конф. – Улан-Удэ, 2012. – С. 130–132.

12. **Спиридонов, А. М.** Золотоносные рудно-магматические системы Забайкалья [Текст] / А. М. Спиридонов, Л. Д. Зорина, Н. А. Китаев. – Новосибирск : Акад. изд-во «ГЕО», 2006. – 291 с.

13. **Сурьмяная** минерализация на золоторудных месторождениях Восточного Казахстана [Текст] / Ю. А. Калинин, К. Р. Ковалев, Е. А. Наумов, М. К. Мягкая // Рудообразующие процессы: от генетических концепций к прогнозу и открытию новых рудных провинций и месторождений : Матер. Всерос. конф. – М. : ИГЕМ РАН, 2013. – С. 39.

14. **Тимофеевский, Д. А.** Геология и минералогия Дарасунского золоторудного региона [Текст] / Д. А. Тимофеевский. – М. : Недра, 1972. – 260 с.

© Ю. О. Редин, Ю. А. Калинин, П. А. Неволько, М. В. Кириллов, В. В. Колпаков, 2014

РЕДИН Юрий Олегович

Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск, мл. науч. сотр.

E-mail: redin.u@mail.ru

КАЛИНИН Юрий Александрович

Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск, зав. лабораторией, д. г.-м. н.

E-mail: yuri.a.kalinin@mail.ru

НЕВОЛЬКО Петр Александрович

Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск, ст. науч. сотр., к. г.-м. н.

E-mail: nevolko@igm.nsc.ru

КИРИЛЛОВ Максим Васильевич

Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск, науч. сотр., к. г.-м. н.

E-mail: kirillovm@ngs.ru

КОЛПАКОВ Владислав Владимирович

Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск, ст. науч. сотр., к. г.-м. н.

E-mail: vladk@igm.nsc.ru