

МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ

УДК 553.411 (571.1)

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ВЕРОЯТНЫЕ КОРЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА РОССЫПЕЙ КЕЛЬБЕС-ЗОЛОТОКИТАТСКОГО РАЙОНА (СЕВЕРНАЯ ЧАСТЬ КУЗНЕЦКОГО АЛАТАУ)



В.В. Колпаков¹, Г.В. Нестеренко¹, П.А. Неволько^{1,2}, С.М. Жмодик^{1,2}

¹ Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия

² Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

В Кельбес-Золотокитатском районе распространены автохтонные и аллохтонные россыпи самородного золота. Степень механической и химической преобразованности золотин в них разная, но основные особенности эндогенного химического состава золотин сохраняются. Золотины имеют высокую пробность и простой набор распространенных рудных минералов во включениях. Основным коренным источником самородного золота россыпей скорее всего является оруденение золото-кварцевой формации.

Ключевые слова: самородное золото, россыпи золота, рудные источники золота, Кузнецкий Алатау

Введение

Кельбес-Золотокитатский район расположен в северных предгорьях Кузнецкого Алатау, в переходной к Западно-Сибирской низменности геоморфологической зоне (в междуречье Барзас – Кельбес – Золотой Китат). Он является одним из старейших золотороссыпных узлов Кузнецкого Алатау. В районе распространены различные генетические типы россыпей – от элювиальных и делювиальных до озерно-аллювиальных и прибрежно-морских, от мелового до четвертичного возрастов [Платонов и др., 1998]. Всего за время эксплуатации россыпей (более 150 лет) из них добыто порядка 12 т золота. Мелкие и средние по масштабам золотоносные россыпи известны (около 50 россыпей) практически по всем водотокам, главные из них – по рекам Кельбес, Селла, Барзас, Суэта, Еденис, Сухая, Никольская, Солонешная и другим – в процессе обработки перемывались по нескольку раз.

В настоящее время обрабатываются в основном мелкозалегающие долинные аллювиальные россыпи, в которых сосредоточена лишь малая часть ресурсов золота района. Объектами добычи старателей иногда являлись и подстилающие россыпи продукты остаточной золотоносной коры выветривания (K_1), сформированной за счет коренной золоторудной минерализации. В отличие от хорошо известных рудно-россыпных узлов Кузнецкого Алатау (Центральный, Берикольский, Саралинский и др.), золотое оруденение Кельбес-Золотокитатского района изучено слабо. Установлено [Куртигешев и др., 2001] лишь несколько рудопроявлений золото-сульфидно-кварцевого типа, приуроченных к зонам дробления и рассланцевания в метамор-

физованных вулканогенных и осадочных породах камжелинской свиты (R_3-C_1). А.Н. Платонов и др. [Платонов и др., 1998], наиболее подробно изучавшие этот район, указывают на приуроченность золото-сульфидно-кварцевого оруденения (мелкие жилы и штокверковые зоны) к гидротермально измененным дайкам и к контактам интрузий основного состава.

Минералого-геохимическое изучение самородного золота россыпей позволяет прогнозировать золотое оруденение. Это давно и успешно используется многими исследователями [Петровская, 1973; Нестеренко, 1991; Николаева, Яблокова, 2007; Chapman et. al., 2010], остается актуальным и является целью данной работы. В основу работы положен обширный фактический материал по химическому составу и минералогическим особенностям самородного золота россыпей района, полученный авторами в результате полевых работ нескольких лет и лабораторных исследований. Впервые приводятся данные по микровключениям рудных минералов в золотилах из автохтонных россыпей.

Краткие сведения о геологическом строении и золотоносности района

Район приурочен к геологическим структурам северной части Кузнецкого Алатау, которые далее к северу перекрываются осадочным чехлом Западно-Сибирской низменности, а с запада ограничиваются Кузнецкой впадиной. Он расположен примерно в 30 км к западу от Кузнецко-Алтайского разлома, в пределах Пезасского поднятия, входящего в состав Золотокитат-Кондомской структурно-формационной зоны океанического типа [Алабин, Калинин, 1999].

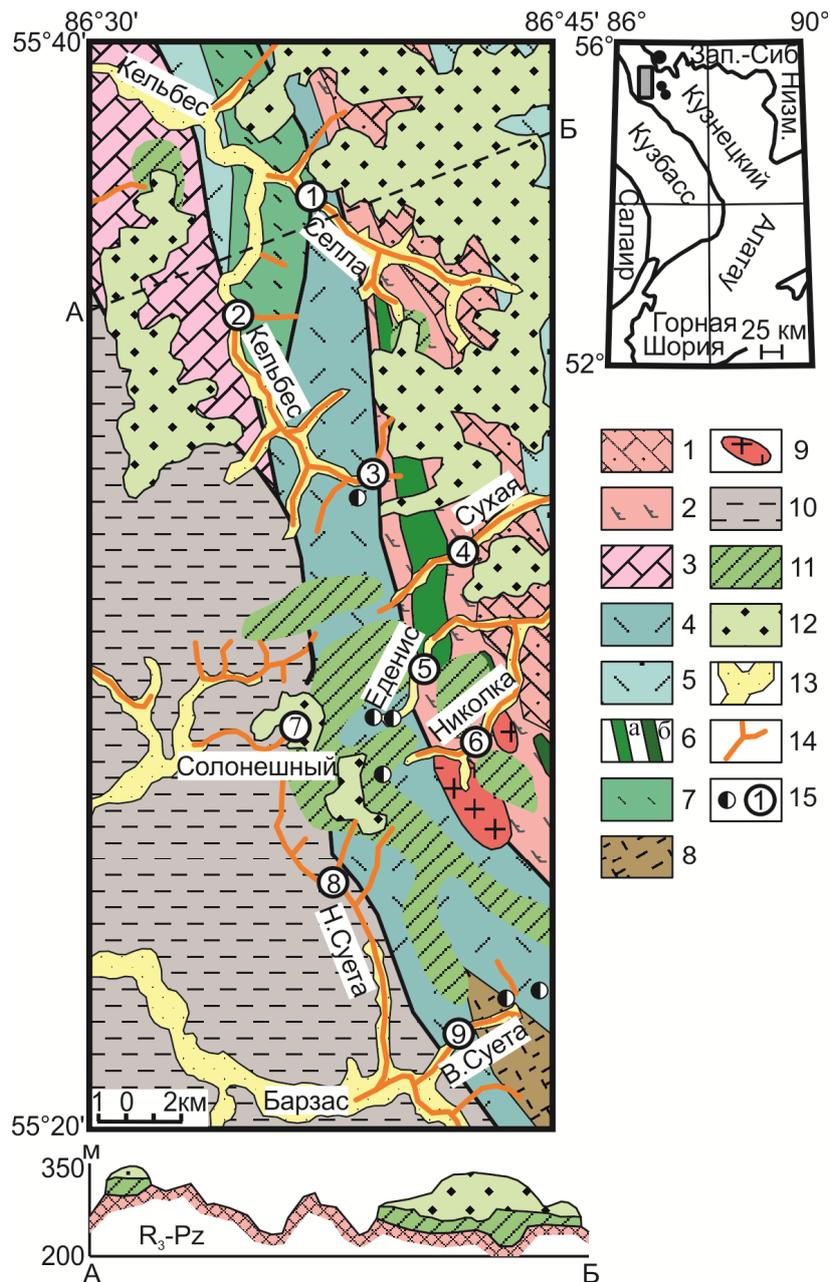


Рис. 1. Схема геологического строения Кельбес-Золотокиятского района [по Куртигешев и др., 2001]

1 – мрамора графитистые ($R_3?$); 2 – амфиболиты ($R_3?$); 3 – известняки мраморизованные (R_3-V_1); 4 – metabasalts, shales, metasandstones, marbled limestones of the kamzhelinsky formation (R_3-C_1); 5 – basalts, lavabreccias, tuffs (C_1); 6 – Успенский (а) габбро-диорит-долеритовый и Кайгадатский (б) габбро-пироксенит-перидотитовый массивы (C_1); 7 – алевролиты, песчаники (O_1); 8 – базальты, туфы (D_1); 9 – гранодиориты, граносиениты тельбесского комплекса ($D_1?$); 10 – песчаники, алевролиты, аргиллиты угленосные (C_{1-3}); 11 – каолинит-гидрослюдистая кора выветривания по доюрским породам (K_1); 12 – глинисто-песчано-галечные отложения симоновской свиты (K_2); 13 – современные аллювиальные отложения; 14 – аллювиальные россыпные месторождения золота; 15 – рудопроявления золота и участки опробования: р. Селла (1), р. Кельбес (2), рч. Александровка (3), р. Сухая (4), р. Еденис (5), рч. Никольский (6), рч. Солонешный (7), р. Нижняя Суета (8), р. Верхняя Суета (9). На врезке: местоположение района и скарновые золотосодержащие месторождения (с севера на юг) – Амपालыкское, Ольгинское, Филатьевское

Fig. 1. The geological scheme of the Kelbes-Zolotokitat region [according to Kurtigeshev et al., 2001]

1 – graphited marble ($R_3?$); 2 – amphibolites ($R_3?$); 3 – marbled limestones (R_3-V_1); 4 – metabasalt, shales, metasandstones, marbled limestones of the kamzhelinsky formation (R_3-C_1); 5 – basalts, lavabreccias, tuffs (C_1); 6 – Uspensky (a) gabbro-diorite-dolerite and Kaigadatsky (b) gabbro-pyroxenite-peridotite massifs (C_1); 7 – siltstone, sandstone (O_1); 8 – basalts, tuffs (D_1); 9 – Telbessky complex, granodiorites, granosyenites ($D_1?$); 10 – sandstones, siltstones, mudstones coal-bearing (C_{1-3}); 11 – kaolinite-hydromicas crust of weathering on the pre-Jurassic rocks (K_1); 12 – clays-sands-pebbles deposits of the simonovsky formation (K_2); 13 – quaternary alluvial deposits; 14 – alluvial placer gold deposits; 15 – gold deposits and sampling sites: Sella (1), Kelebes (2), Aleksandrovka (3), Suchaja (4), Edenis (5), Nikolsky (6), Soloneshny (7), N. Sueta (8), V. Sueta (9). In the small scheme: location of the region and skarn gold deposits (from North to South) – Ampalyksky, Olginsky, Filatyevsky

Длительная история развития и высокая тектоническая мобильность привели к формированию геоструктуры, сложенной чередующимися горстами и грабенами север-северо-западного простирания, разделенными крупными разломами [Платонов и др., 1998]. В основании разреза находятся древние метаморфические толщи (метабазальты, сланцы, метапесчаники, мраморизованные известняки) камжелинской свиты (R_3 – C_1), выполняющие Суховский горст. Породы свиты метаморфизованы до зеленосланцевой фации, катаклазированы, милонитизированы и насыщены дайками и штоками долеритов, габбро-долеритов, порфиритов. Камжелинская свита перекрывается вулканогенными и терригенными образованиями возрастом от C_1 до D_1 (рис. 1). Интрузивные образования занимают небольшую часть площади и представлены Успенским габбро-диорит-долеритовым массивом писаревского комплекса (C_1), Кайгадатским габбро-пироксенит-перидотитовым массивом иркутского комплекса (C_1), небольшими телами гранодиоритов и граносиенитов (D_1 ?) тельбесского комплекса [Куртигешев и др., 2001].

Нижнемеловые кора выветривания и существенно глинистые с примесью терригенного материала образования кийской свиты, являющиеся продуктами ее местного переотложения, на рассматриваемой территории сохранились фрагментарно, на водоразделах. Более широким распространением пользуются песчано-гравийно-галечные, в разной степени глинистые отложения симоновской свиты (K_2). Они возникли в результате размыва и переотложения нижнемеловых отложений и палеозойских пород Кузнецкого Алатау в условиях продолжающегося химического выветривания [Казаринов, 1958]. Мощность меловых свит в предгорной зоне достигает 40 м, а на прилегающей части Западно-Сибирской низменности отложения симоновской свиты образуют сплошной покров, возрастает их мощность и уменьшается крупность обломочного материала. Меловые отложения в предгорьях Кузнецкого Алатау повсеместно заражены самородным золотом и являются его источником для россыпей района [Платонов и др., 1998; Нестеренко, Колпаков, 2007; 2010]. В остаточной коре выветривания содержания золота могут достигать граммовых и более значений, в продуктах ее переотложения – до 100 – 200 мг/м³, золото в последних в основном мелкое и тонкое. Прогнозные ресурсы золота в корах выветривания оцениваются на уровне 50 т [Черных, 2004]. Кроме того, меловые отложения местами продуктивны на бурожелезняковые руды, россыпи минералов Ti, бокситы [Торгунаков, Аввакумов, 1998]. Аллохтонные отложения симоновской свиты на территории Западно-Сибирской низменности опробованы в Ижморском и Кайлинском карьерах, расположенных на удалении около 30 км от северного фаса Кузнецкого

Алатау. Отложения представлены здесь олигомиктовыми мелко-среднезернистыми кварц-каолиновыми песками, местами с повышенным содержанием минералов Ti и Zr. Содержания золота в отложениях не превышают 20 – 30 мг/м³ [Нестеренко, Колпаков, 2010].

Опробованные автохтонные россыпи рек Сухая, Еденис, Никольская, Солонешная, Нижняя Суэта приурочены к водоразделу рек Барзас – Золотой Китат с сохранившимися на нем золотоносными меловыми отложениями и являются, как правило, погребенными, неоген-нижнечетвертичного возраста. Пески россыпей сложены галечниками существенно кремнисто-кварцевого состава, сцементированными красно-бурой или темно-серой песчанистой глиной. Распределение золота гнездовое, содержания его достигали очень высоких значений. Из россыпей этого типа было добыто около половины золота района [Платонов и др., 1998]. В областях питания аллохтонных долинных россыпей среднего-верхнего течения рек Селла и Кельбес широко распространены отложения симоновской свиты. Пески россыпей плохо промывистые, имеют глинисто-галечный состав, средние содержания золота в них не превышают 1 г/м³.

Россыпи золота имеют основное промышленное значение для района, рудные объекты не обрабатывались. Все известные рудопроявления золота (см. рис. 1) приурочены к Суховскому горсту, сложенному породами камжелинской свиты (R_3 – C_1), и располагаются в непосредственной близости от рассматриваемых россыпей. Данных по самородному золоту рудопроявлений района нет. Оруденение представлено жильными и прожилково-вкрапленными (гидротермально измененные породы) зонами, приуроченными к участкам дробления и рассланцевания. Содержания золота довольно низкие, до 3 г/т. Рудопроявления золота и участки опробованных россыпей находятся в контурах прогнозируемого [Куртигешев и др., 2001] Кельбес-Камжелинского золоторудного узла. Золотому оруденению сопутствует слабо проявленная медная минерализация. В золотоносных россыпях в малых количествах находятся минералы металлов платиновой группы, их коренные источники связываются с Кайгадатским и Успенским массивами [Жмодик и др., 2016; Гусев и др., 2020].

Методика работ

Представительные выборки самородного золота получены при промывке целиковых участков (по старательским расчисткам) и отвалов отработки россыпей. Золотины отбирались из шлиховых концентратов вручную, под бинокулярным микроскопом, параллельно фиксировалась их морфология. После

изготовления полированных шашек-аншлифов из золотин, поиск микровключений минералов в них осуществлялся под рудным микроскопом AxioScope A.1 (Carl Zeiss), отмечались также наличие и толщина высокопробных гипергенных кайм. Все точные аналитические работы выполнялись в Центре коллективного пользования многоэлементных и изотопных исследований СО РАН. Минералы, обнаруженные в зернах самородного золота в виде микровключений, определялись при помощи сканирующего электронного микроскопа (SEM) MIRA 3 LMU (Tescan Ltd) с системой микроанализа INCA Energy 450 XMax 80 (Oxford Instruments Ltd–NanoAnalysis Ltd) с термополевой эмиссией. Химический состав зерен самородного золота определялся на электронном микронзонде Camebax-micro с использованием волнового дисперсионного спектрометра (WDS) с тонко сфокусированным пучком (< 2 мкм). Пределы обнаружения основных компонентов макросостава самородного золота (Au, Ag, Hg, Cu) составляют 0,05–0,1 мас. %.

Минералого-геохимическая характеристика самородного золота

Самородное золото в автохтонных аллювиальных россыпях представлено двумя типами: 1) крупное, местное, комковато-массивное, иногда рудного облика (жилковидно-пластинчатое и интерстиционное), окатанное и слабо окатанное, реже неокатанное, с примазками лимонита и в сростках с кварцем; 2) мелкое, уплощенное и окатанное – из симоновской свиты. Золото 1-го типа преобладает. Золотины аллохтонных россыпей по морфологии довольно однотипны. Это в основном уплощенные, хорошо окатанные частицы лепешковидной, реже чешуйчатой формы, иногда причудливых очертаний. В подчиненном количестве присутствуют слабо окатанные жилковидно-пластинчатые золотины псевдорудного облика. На поверхности золотин часто

присутствуют пленки и корочки гидроокислов Fe, Mn, глинистых минералов, сростки с кварцем редки. В аллохтонных отложениях Западно-Сибирской низменности преобладают очень мелкие, сильно уплощенные, окатанные и отпрепарированные от сростаний с другими минералами золотины. Они в основном представлены чешуйками и частицами жилковидно-пластинчатой морфологии. Сводная гранулометрия самородного золота по типам россыпей представлена в табл. 1, а примеры морфологии – на рис. 2.

Пробность самородного золота 9 россыпей, обозначенных на рис. 1, и количество в выборках золотин с высокопробными (990–1000 ‰) гипергенными каймами выщелачивания приведены на рис. 3. Подавляющее количество золотин имеет пробность выше 800 ‰, а характер распределения ее по выборкам различен, в зависимости от представительности выборок и гипергенной преобразованности золотин. На обобщенных (по типам россыпей) гистограммах (рис. 4) видно, что распределение пробности золота автохтонных россыпей ближе к нормальному, чем к логнормальному, с максимумами в интервалах 850–900 ‰ и 900–950 ‰, а аллохтонных – к логнормальному, с максимумами в интервалах 990–1 000 ‰ и 950–990 ‰. Это связано с сильной гипергенной преобразованностью золотин в аллохтонных россыпях ближнего и дальнего сноса – 46 и 56 % соответственно, против 10 % золотин в автохтонных россыпях.

Кроме серебра, характерной, но небольшой примесью в самородном золоте является ртуть (см. рис. 4). В количествах выше предела обнаружения она встречена в 60 % анализов золотин автохтонных россыпей, в 50 % золотин аллохтонных и в 10 % золотин из аллохтонных отложений симоновской свиты Западно-Сибирской низменности. Содержания ртути в самородном золоте чаще всего составляют до 0,5 мас. % и не превышают 2–2,5 мас. %. Корреляция между содержаниями Ag и Hg в самородном золоте очень слабая или отсутствует.

Таблица 1

Гранулометрия самородного золота россыпей

Table 1

Granulometry of placer native gold grains

Россыпи	n	Средний вес знака, мг	Выход (мас. %) по фракциям крупности, мм				
			+2	1–2	0,5–1	0,25–0,5	–0,25
Автохтонные, предгорья Кузнецкого Алатау	4 330	0,67	25	22	15	28	10
Аллохтонные, предгорья Кузнецкого Алатау	7 358	0,17	6	4	9	47	34
Симоновская свита, Зап.-Сиб. низменность *	753	0,005				48	52

* По данным [Нестеренко, Колпаков, 2010].

* According to [Nesterenko, Kolpakov, 2010].

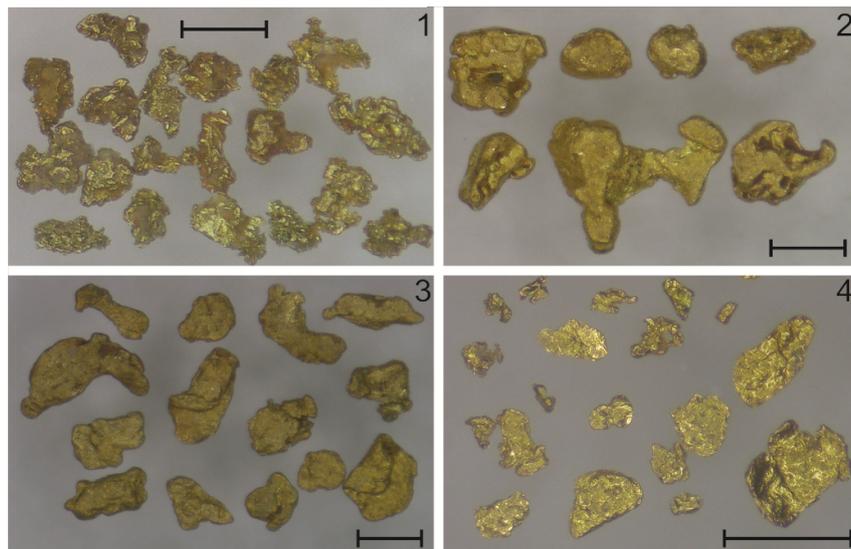


Рис. 2. Морфология золоти́н

1 – автохтонная россыпь р. Сухая, золоти́ны рудного облика (жилковидно-пластинчатые); 2 – автохтонная россыпь р. Еденис, комковато-массивные золоти́ны; 3 – аллохтонная россыпь р. Селла, лепешковидные золоти́ны неправильной формы; 4 – симоновская свита (Ижморский песчаный карьер), чешуйки и золоти́ны псевдорудного облика. Фото под бинокулярным микроскопом. Длина масштабной линейки – 0,5 мм

Fig. 2. Morphology of Gold grains

1 – autochthonous placer of Suchaja river, gold particles in the primary ore-form (irregularly-tabular); 2 – autochthonous placer of Edenis river, lumpy-massive gold particles; 3 – allochthonous placer of Sella river, flattened gold particles of irregular form; 4 – Simonovsky formation (Izhmorsky sand pit), very flattened and irregular form gold particles. Binocular microscope images. The length of the scale is 0.5 mm

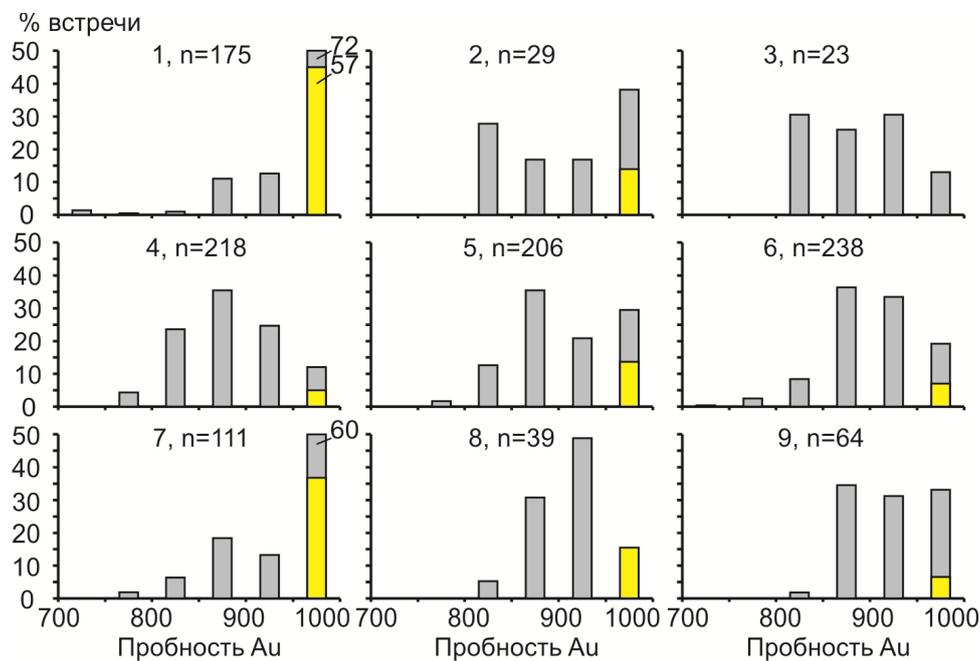


Рис. 3. Пробность самородного золота

1, 2 – аллохтонные россыпи; 3–9 – автохтонные россыпи. Желтым цветом показан процентный выход золота с пробностью 990–1 000 ‰ (гипергенные каймы). Привязка выборок приведена на рис. 1

Fig 3. The fineness of native gold

1, 2 – allochthonous placers; 3–9–autochthonous placers. Yellow color shows the percentage of gold with a fineness of 990–1,000 ‰ (hypergene rims). See figure 1 for the location of objects

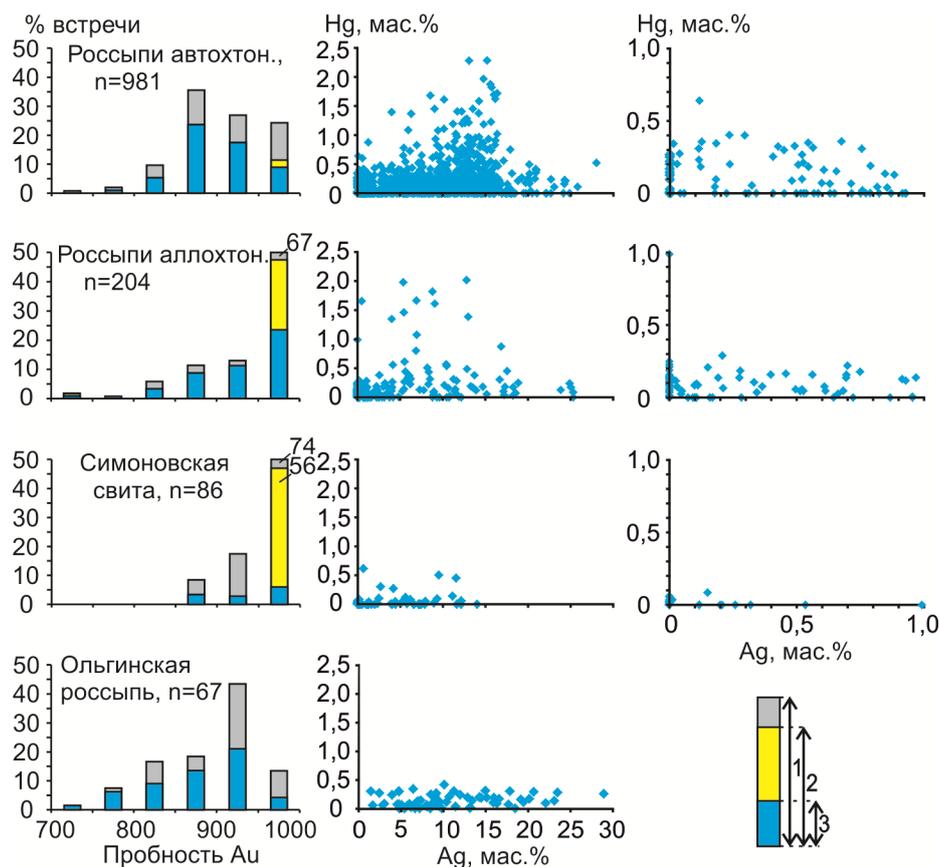


Рис. 4. Пробность самородного золота по типам россыпей, содержание и частота встречаемости Hg в Au
 1 – общий процентный выход золота данной пробности в выборке; 2 – процентный выход золота с пробностью 990–1 000 ‰; 3 – частота встречаемости в золоте данной пробности примеси ртути

Fig. 4. The fineness of native gold in placers of different types, content and frequency of Hg in Au

1 – the total percentage value of gold of this fineness; 2 – the percentage value of gold with a fineness of 990–1,000‰; 3 – the frequency of occurrence of mercury in gold of this fineness

Медь в составе самородного золота встречается очень редко: 1,5; 2 и 3,5 % анализов золотин по вышеперечисленным типам россыпей соответственно. Содержания меди обычно составляют 0,1 мас. % и не превышают 1–2 мас. %. Значимые (0,1 мас. % и более) содержания Ag и (или) Hg в гипергенных каймах на золотилах (см. рис. 4) чаще встречаются в автохтонных россыпях – в 80 % кайм, в то время как в аллохтонных россыпях ближнего и дальнего сноса Ag, Hg встречены в 60 и 10 % кайм соответственно. Толщина гипергенных кайм на золотилах, особенно из автохтонных россыпей, невелика.

На рис. 4 приведены два графика, характеризующие состав самородного золота палеоценовой элювиально-делювиальной Ольгинской россыпи, тесно связанной с Ольгинским Au-Cu-скарновым месторождением, расположение которого показано на врезке (см. рис. 1). Золотины в россыпи крупные, рудного облика, часто в рубашках гидроокислов Fe [Платонов и др., 1998]. Пробность самородного золота этой россыпи несколько выше (макси-

мум в интервале 900–950 ‰), чем в автохтонных россыпях Кельбес-Золотокитатского района, примерно в половине золотин присутствует небольшая (до 0,5 мас. %) примесь ртути, меди в составе Au не обнаружено.

Для изучения микровключений рудных минералов была изготовлена шашка-аншлиф из 220 золотин автохтонных россыпей рек Сухая, Еденис, Солонешный, Верхняя Суета. Включения обнаружены в 27 золотилах (табл. 2).

Включения, кроме ильменита и рутила, представлены сульфидами, сульфоарсенидами Fe, Co, Ni, теллуридом Ni и сульфотеллуридом Bi (рис. 5). В золотилах чаще всего присутствуют включения какого-то одного минерала, реже двух, размер включений в основном не превышает 0,02 мм, единичные достигают 0,05 мм.

Количество включений, обнаруженных в срезе отдельно взятой золотины, – до 15 (арсенопирит в одной из золотин россыпи р. Еденис, п/п № 13, см. табл. 2).

Таблица 2

Минералы-микровключения в золоти́нах

Table 2

Mineral microinclusions in the gold particles

№ п/п	Россыпь (№ на рис. 1)	Минералы-включения в золоти́нах	Состав золоти́н, мас. %			
			Cu	Au	Hg	Ag
1	Сухая (4)	Ару	0,00	85,64	0,32	14,04
2	Сухая (4)	Ару	0,00	86,51	0,05	13,43
3	Сухая (4)	Сру	0,00	85,32	0,45	14,23
4	Еденис (5)	Gn	0,00	88,34	0,06	11,60
5	Еденис (5)	Gn	0,00	97,19	0,01	2,80
6	Еденис (5)	Сру, Ge	0,00	89,94	0,10	9,96
7	Еденис (5)	Ру	0,00	96,77	0,01	3,22
8	Еденис (5)	Ру	0,00	84,10	0,08	15,82
9	Еденис (5)	Ру	0,00	84,39	0,04	15,57
10	Еденис (5)	Ру	0,00	85,51	0,15	14,34
11	Еденис (5)	Ру	0,00	89,59	0,64	9,77
12	Еденис (5)	Ару	0,00	88,80	0,16	11,03
13	Еденис (5)	Ару	0,00	90,20	0,00	9,81
14	Еденис (5)	Cbt	0,00	88,11	0,32	11,57
15	Еденис (5)	Пур	0,00	85,36	0,11	14,54
16	Еденис (5)	Ru	0,00	94,05	0,22	5,73
17	Солонешный (7)	Пур, Сру	0,00	91,40	0,00	8,61
18	Солонешный (7)	Ilm	0,87	90,40	0,96	7,76
19	Верхняя Суета (9)	Gn	0,00	93,34	0,14	6,50
20	Верхняя Суета (9)	Gn	0,00	88,21	0,14	11,65
21	Верхняя Суета (9)	Сру	0,00	94,24	0,17	5,59
22	Верхняя Суета (9)	Сру	0,00	86,58	0,19	13,23
23	Верхняя Суета (9)	Ру	0,00	87,55	0,16	12,29
24	Верхняя Суета (9)	Ру	0,00	92,90	0,18	6,90
25	Верхняя Суета (9)	Ру, Spl	0,00	92,58	0,35	7,07
26	Верхняя Суета (9)	Ару	0,00	89,45	0,42	10,12
27	Верхняя Суета (9)	мелонит (NiTe ₂), тетрадимит (Bi ₂ Te ₂ S)	0,00	91,13	0,26	8,61

Примечание. Ру – пирит, Ару – арсенопирит, Сру – халькопирит, Gn – галенит, Spl – сфалерит, Пур – пирротин, Cbt – кобальтин, Ge – герсдорфит, Ilm – ильменит, Ru – рутил.

Note. Ру – pyrite, Ару – arsenopyrite, Сру – chalcopyrite, Gn – Galena, Spl – sphalerite, Пур – pyrrhotite, Cbt – cobaltine, Ge – gersdorffite, Ilm – ilmenite, Ru – rutile.

Пирит, арсенопирит, халькопирит и галенит являются наиболее распространенными минералами включений. Пирит встречается в восьми золоти́нах, арсенопирит, халькопирит – в пяти, галенит – в четырех. Зависимости между наличием включений какого-либо минерала и химическим составом золоти́н как по общей выборке (рис. 6), так и по отдельным россыпям не наблюдается.

Все фигуративные точки (кроме двух) на графике попадают в диапазон пробности Au 840–940 %. Характер гистограммы пробности выборки золоти́н с включениями минералов близок к таковому по общей выборке самородного золота автохтонных россыпей района. На рис. 5 видна также небольшая толщина гипергенных высокопробных кайм на золоти́нах.

Обсуждение результатов

Самородное золото в автохтонных россыпях Кельбес-Золотокитатского района довольно крупное (см. табл. 1) и имеет пробность в основном более 850 ‰ (см. рис. 4), из элементов-примесей, кроме серебра, в нем часто содержится только небольшое (обычно до 0,5–1 мас. %) количество ртути. Ассоциация минералов-микровключений в золоти́нах довольно простая, преобладают типичные для золотого оруденения пирит, арсенопирит, халькопирит и галенит. Такой набор признаков характерен для золото-кварцевого оруденения [Николаева, Яблокова, 2007; Николаева и др., 2013; Гаськов, 2017].

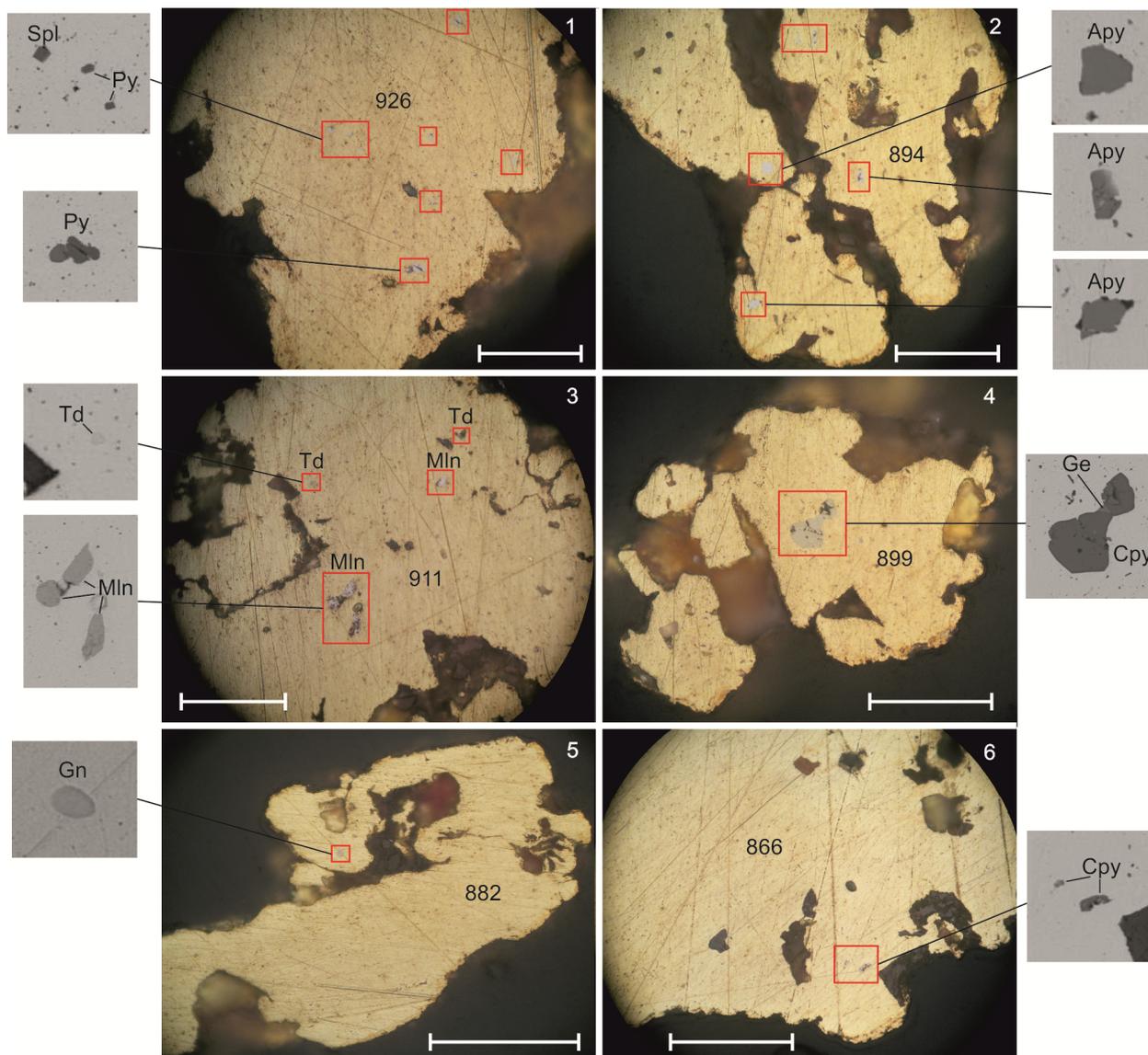


Рис. 5. Микровключения минералов в золотилах

1 – пирит и сфалерит, р. Верхняя Суета, п/п № 25 (см. табл. 2); 2 – арсенопирит, р. Верхняя Суета, п/п № 26; 3 – мелонит и тетрадимит, р. Верхняя Суета, п/п № 27; 4 – халькопирит в сростании с герсдорфитом, р. Еденис, п/п № 6; 5 – галенит, р. Верхняя Суета, п/п № 20; 6 – халькопирит, р. Верхняя Суета, п/п № 22. Цифрами показана пробыность золота. Фото под рудным и электронным (на выносках) микроскопами. Длина масштабной линейки – 0,1 мм

Fig. 5. The microinclusions of minerals in the gold particles

1 – pyrite and sphalerite, V. Sueta, p/p N 25 (see table 2); 2 – arsenopyrite, V. Sueta, p/p N 26; 3 – melonite and tetradimite, V. Sueta, p/p N 27; 4 – chalcopyrite and gersdorffite intergrowth, Edenis, p/p N 6; 5 – galenite, V. Sueta, p/p N 20; 6 – chalcopyrite, V. Sueta, p/p N 22. The numbers in the photo show the gold fineness. Optical microscope and SEM images. The length of the scale is 0.1 mm

В Кузнецком Алатау оно встречается на многих объектах золоторудной минерализации, однако наиболее проявлено, если вмещающими породами являются вулканогенно-сланцевые отложения кембрия, прорываемые гранитоидами [Щербаков, 1974] O-S возраста. Связь золото-кварцевого оруденения с магматизмом неочевидна, весьма вероятен метаморфогенно-гидротермальный его генезис [Николаева и др., 2013]. Известные рудопоявления золота района приурочены к зонам дробления и милонитизации в вулканогенных и осадочных породах камжелинской

свиты (R₃–C₁), метаморфизованных до зеленосланцевой фации, и не обнаруживают явной пространственной связи с интрузиями. Породы свиты являются благоприятной средой для циркуляции гидротермальных растворов и перспективны на метаморфогенно-гидротермальное золотое оруденение [Куртигешев и др., 2001]. Трудность выделения этого типа оруденения, источником золота которого являются вмещающие породы, заключается в наложении на него оруденения, связанного с магматизмом [Алабин, Калинин, 1999].

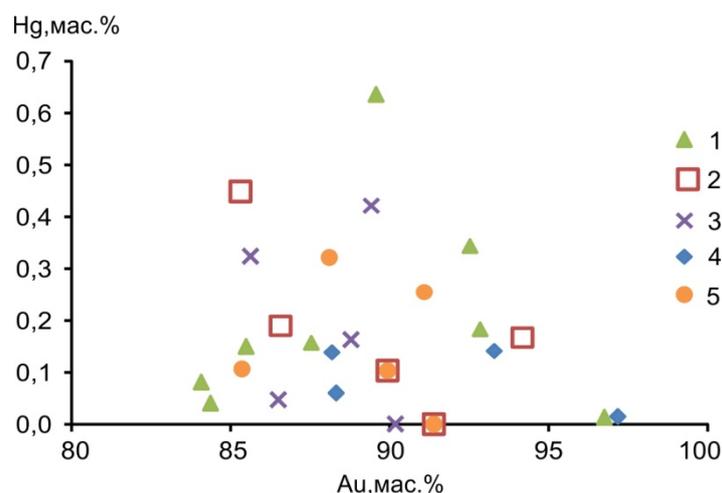


Рис. 6. Состав золотин с включениями рудных минералов

Минералы: 1 – пирит, 2 – халькопирит, 3 – арсенопирит, 4 – галенит, 5 – прочие: пирротин, герсдорфит, кобальтин, мелонит (NiTe_2), тетрадимит ($\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$)

Fig. 6. Composition of gold grains with inclusions of ore minerals

Minerals: 1 – pyrite, 2 – chalcopyrite, 3 – arsenopyrite, 4 – galena, 5 – other: pyrrhotite, gersdorffite, cobaltine, melonite (NiTe_2), tetradimite ($\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$)

А.Н. Платонов и соавт. [1998] указывают на приуроченность золотого оруденения к гидротермально измененным дайкам, например, на водоразделе р. Еденис и рч. Солонешный. Это может быть следствием того, что и внедрение даек и циркуляция рудообразующих растворов происходили по одним и тем-же проницаемым зонам. Дайки под воздействием растворов претерпевали изменение, и, наряду с жильным золото-кварцевым, формировалось прожилково-вкрапленное золото-сульфидно-кварцевое оруденение. Связь золотого оруденения с дайками основного состава является давно подмеченным и распространенным явлением [Щербаков и др., 2003].

В россыпи р. Еденис встречены (см. табл. 2) единичные включения в золотилах кобальтина и герсдорфита (в сростании с халькопиритом). По нашим данным, кобальтин и аллоклазит, вместе с пиритом, халькопиритом и арсенопиритом, являются обычными микровключениями в золотилах из кварцевых жил и кор выветривания Егорьевского района северо-западного Салаира [Колпаков и др., 2020], в котором золотое оруденение также тяготеет к дайкам основного состава [Золотоносность..., 1995]. В одной золотине из россыпи р. Верхняя Суэта обнаружены включения мелонита и тетрадимита (см. табл. 2, № 27 и рис. 5, № 3). Теллуриды и минералы Bi характерны для оруденения, связанного с интрузиями (intrusion related), в том числе и для золото-скарнового.

В изучаемом районе присутствуют небольшие тела гранодиоритов и граносиенитов тельбесского комплекса, являющиеся сателлитами Ольгинского

гранитоидного массива. Эти тела локализованы среди амфиболитов или на контакте амфиболитов и пород камжелинской свиты. Возраст гранитоидов тельбесского комплекса на карте указан как $D_1?$, но был определен [Куртигешев и др., 2001] и как O_2 , с ним связано золото-скарновое оруденение, в том числе и Ольгинского месторождения. Кроме Ольгинского и Филатьевского, в той же Золотокитат-Кондомской структурно-формационной зоне Кузнецкого Алатау находится Федоровско-Талановское золото-скарновое месторождение. Для него, как и для Ольгинского, характерно высокопробное (910–990 ‰) золото [Алабин, Калинин, 1999].

На месторождениях этого типа наиболее высокопробно золото из оруденения, развитого в скарнах. Самородное золото скарновых руд Филатьевского месторождения имеет пробность 900–920 ‰ при преобладающем размере золотин 0,5–1 мм. Аналогами Федоровско-Талановского месторождения в Кузнецком Алатау считаются Натальевское и Майское месторождения [Алабин, Калинин, 1999]. Вариация пробности самородного золота в рудах, приуроченных к скарнам, на этих месторождениях составляет от 700 до 970–1 000 ‰, распределение пробности разное. На Натальевском максимум приходится на интервал 990–1 000 ‰ [Нестеренко, Колпаков, 2007], в этом золоте изредка отмечаются примеси Hg и Cu 0,1–0,2 мас. %. На Майском распределение пробности золота близко к нормальному, с максимумом в интервале 800–850 ‰, встречаемость примеси Hg в Au составляет 100 ‰ при содержаниях Hg 0,3–2 мас. %, примесь меди обнару-

живается лишь в единичных золотилах. Одной из продуктивных минеральных ассоциаций на Майском месторождении является золото-теллуридно-висмутовая [Тимкин, 2012].

Месторождения золото-сульфидно-кварцевого типа (Берикульская группа, Центральное, Комсо-

мольское и др.) залегают в интрузивах или в существенно вулканогенных толщах [Щербаков, 1974]. Оруденение характеризуется значительно более пестрым минеральным составом и более низкой пробностью золота [Нестеренко, 1991; Нестеренко, Колпаков, 2007] (рис. 7), чем в изучаемых россыпях.

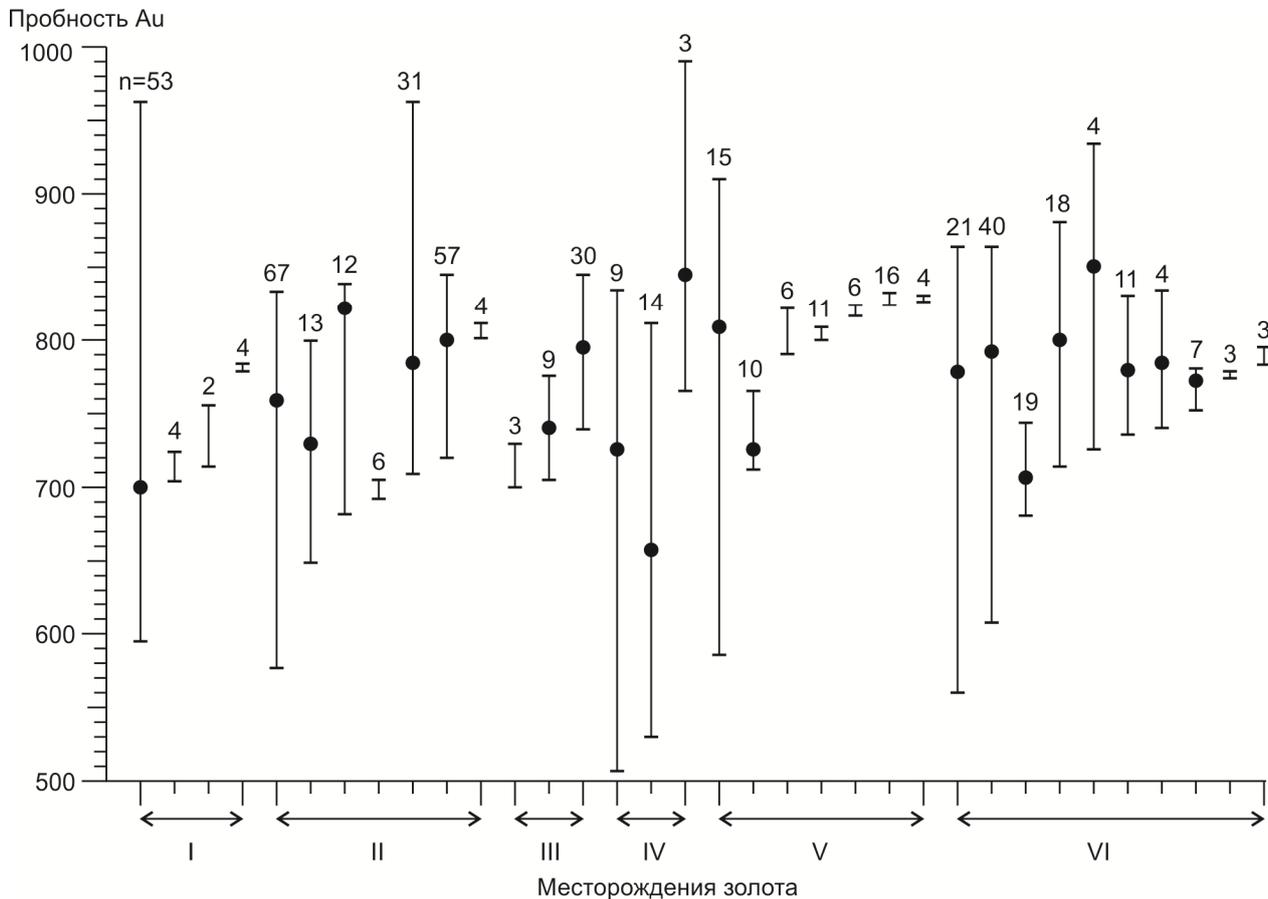


Рис. 7. Пробность золота некоторых золото-сульфидно-кварцевых месторождений Кузнецкого Алатау

I – Новоберикульское ($n = 63$): жила Новогодняя, жила Горчаковская, жила Секретная, жила 4; II – Староберикульское ($n = 191$): жилы 65, 66, 56, 29, 35, 49, 68, 42; III – Берикульское ($n = 42$); IV – Гавриловское ($n = 39$): жила Геологическая, жила Коминтерн, жила Надежная; V – Центральное ($n = 68$): жила Якушковская, Л-727, жила Кавказская, жила Лермонтовская, жила Дмитриевская, шахта Красная, жила Лотерейная; VI – Комсомольское ($n = 130$): жила Новогодняя, жила 35, жила Ключевская, жила Комсомольская, жила Валеевская, жила Сентябрьская, жила Июньская, жила 60, жила Пионерская, жила Пологая. Точкой на линиях вариации пробности золота обозначено среднее значение

Fig. 7. Gold fineness of some gold-sulfide-quartz deposits of the Kuznetsk Alatau

I – Novoberikul'skoe ($n = 63$): vein Novogodny, vein Gorchakovskaya, vein Sekretnaja, vein 4; II – Staroberikul'skoe ($n = 191$): veins 65, 66, 56, 29, 35, 49, 68, 42; III – Berikul'skoe ($n = 42$); IV – Gavrilovskoe ($n = 39$): vein Geologicheskaja, vein Comintern, vein Nadezhnaja; V – Zentralnoe ($n = 68$): vein Jakushkovskaya, L-727, vein Kavkazskaja, vein Lermontovskaja, vein Dmitrievskaja, mine Krasnaja, vein Lottereynaja; VI – Komsomolskoe ($n = 130$): vein Novogodny, vein 35, vein Kliuchevskaja, vein Komsomolskaja, vein Valeevskaja, vein Sentjabr'skaja, vein Ijul'skaja, vein 60, vein Pionerskaja, vein Pologaja. The point indicates the average value of gold fineness

Однако, например, в наиболее высокотемпературных золото-сульфидно-кварцевых жилах на Южном участке Центрального месторождения пробность золота составляет 820–950 ‰, золотины по размеру средние и крупные, а минеральная ассоциация в жилах становится существенно молибденито-

вая или шеелитовая [Алабин, Калинин, 1999]. В целом крупное самородное золото достаточно распространено на золото-сульфидно-кварцевых месторождениях, особенно в кварцевых жилах. В составе самородного золота месторождений Кузнецкого Алатау, пробность которого приведена на рис. 7,

также присутствует (в 26 выборках из 34) небольшая примесь ртути. Содержание Hg обычно не превышает 0,3–0,5 мас. %, редко – до 0,95 мас. %. Частота встречаемости примеси Hg в Au составляет: для Бериккульской группы месторождений и Гавриловского – около 50 %; для Центрального – 22 %; для Комсомольского – 58 %. В составе самородного золота этих месторождений часто наблюдается прямая корреляция между содержаниями Hg и Ag [Нестеренко, 1991].

Общей закономерностью поведения ртути на месторождениях всех формационных типов является увеличение ее активности на поздних, эпitherмальных стадиях рудообразования [Наумов, Осовецкий, 2013], в самородном золоте этих стадий содержания ртути могут быть очень высокими. На месторождениях золото-кварцевых формаций содержание основных элементов-примесей, кроме серебра, в самородном золоте чаще всего не превышает 1 мас. % [Гаськов, 2017]. В характеризуемых автохтонных россыпях примесь ртути присутствует в 60 % золотин, из них содержания Hg от 0,1 до 0,5 мас. % встречены в 48 % золотин, от 0,5 до 1 мас. % – в 8 % и от 1 до 2,4 мас. % – лишь в 4 % золотин. Корреляция между содержаниями Hg и Ag в золотилах слабая или отсутствует. Довольно частая встречаемость примеси Hg в Au является следствием тектонической активности региона, а примесь меди, хотя и очень редко присутствующая в самородном золоте, вместе с наличием в золотилах микровключений халькопирита, свидетельствует об имеющих место случаях пространственной совмещенности золотого и медного оруденений.

Самородное золото автохтонных и аллохтонных аллювиальных россыпей района имеет общий источник – золотоносную кору химического выветривания, однако в автохтонных россыпях золотины менее гипергенно преобразованы, чем в аллохтонных. Вероятно, это связано с тем, что самородное золото первых испытало меньше циклов переотложения. Есть также мнение, что механические воздействия на золотины в процессе аллювиального переноса и переотложения приводят к рекристаллизации их поверхностного слоя, что ускоряет процесс химического выщелачивания Ag и других элементов-примесей [Петровская, 1973; Петровский и др., 2012; Stewart et al., 2017]. Несмотря на наличие на многих золотилах из россыпей района высокопробных кайм выщелачивания (см. рис. 5), внутренние части золотин имеют первичный эндогенный химический состав. Даже в гипергенных очень высокопробных каймах сохраняются остаточные содержания Ag, Hg. Чаще это наблюдается у золотин из автохтонных россыпей, реже всего – у золотин из аллохтонных россыпей дальнего сноса. В частности, в элювиально-делювиальной погребенной палеоцено-

вой Ольгинской россыпи степень гипергенного преобразования золотин слабая, а в аллохтонных отложениях на территории Западно-Сибирской низменности – максимальная.

Заключение

Промежуточным источником самородного золота рассматриваемых автохтонных и аллохтонных аллювиальных россыпей Кельбес-Золотокидатского района послужила золотоносная кора химического выветривания мелового возраста, сформированная на площадях с золоторудной минерализацией. От автохтонных к аллохтонным россыпям, вместе с закономерным уменьшением крупности и увеличением механической обработанности золотин, возрастает степень гипергенного хемогенного преобразования самородного золота.

В автохтонных россыпях пробность самородного золота высокая и составляет, в большинстве случаев, 850–950 ‰, гипергенные высокопробные (990–1 000 ‰) каймы выщелачивания развиты примерно на 10 % золотин. Кроме серебра, в 60 % золотин присутствует примесь ртути, в основном до 0,5–1 мас. %, примесь меди встречается очень редко. Химический состав золотин в их центральных частях соответствует эндогенному. Даже в гипергенных каймах часто обнаруживаются остаточные содержания Ag, Hg, что, возможно, коррелирует и с небольшой толщиной кайм.

Минералы, обнаруженные в виде включений в золотилах из россыпей, характерны для многих типов золотого оруденения. Выявленный во включениях простой набор широко распространенных рудных минералов – спутников золота обычен для золото-кварцевой формации. Кроме того, халькопирит и пирротин могут находиться в золотоносных скарнах, минералы Co, Ni указывают на возможную связь оруденения с породами повышенной основности, теллуриды и минералы Bi характерны для оруденения, связанного с интрузиями.

Преобладающим коренным источником золота рассматриваемых россыпей, скорее всего, является золото-кварцевое оруденение, приуроченное к породам камжелинской свиты. Слабая проявленность в районе интрузивного магматизма не исключает, однако, и существования связанных с ним рудных источников золото-скарнового или золото-сульфидно-кварцевого типов, участвовавших в питании россыпей. Полученные данные пополняют информацию о золотом оруденении Кельбес-Золотокидатского района и важны для его прогнозирования.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИГМ СО РАН.

ЛИТЕРАТУРА

- Алабин Л.В., Калинин Ю.А.** Металлогения золота Кузнецкого Алатау. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 1999. 237 с.
- Гаськов И.В.** Главные элементы-примеси самородного золота и связь их с условиями его образования на примере месторождений складчатых поясов Азии // Геология и геофизика. 2017. Т. 58, № 9. С. 1359–1376.
- Гусев В.А., Нестеренко Г.В., Жмодик С.М., Белянин Д.К.** Два типа ассоциаций минералов платиновой группы в золотоносных россыпях северо-западной части Кузнецкого Алатау // Геосферные исследования. 2020. № 1. С. 19–32.
- Жмодик С.М., Нестеренко Г.В., Айрияц Е.В., Белянин Д.К., Колпаков В.В., Подлипский М.Ю., Карманов Н.С.** Минералы металлов платиновой группы (МПГ) из аллювия – индикаторы коренной минерализации // Геология и геофизика. 2016. Т. 57, № 10. С. 1828–1860.
- Золотоносность кор выветривания Салаира** / Н.А. Росляков, Г.В. Нестеренко, Ю.А. Калинин, И.П. Васильев, А.И. Неволько, Н.В. Рослякова, С.Р. Осинцев, В.Г. Свиридов, В.В. Колпаков, Л.П. Бобошко. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 1995. 170 с.
- Казаринов В.П.** Мезозойские и кайнозойские отложения Западной Сибири. М. : Гос. научн.-техн. изд-во нефтяной и горно-топливной литературы, 1958. 324 с.
- Колпаков В.В., Неволько П.А., Фоминых П.А.** Типохимизм и минеральные ассоциации самородного золота коры выветривания Егорьевского рудно-россыпного района (северо-западный Салаир) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2020. № 2. С. 96–109.
- Куртигешев В.С., Бычков А.И., Шатилова Г.А., Скребков А.В., Ефремова Н.М.** Объяснительная записка к государственной геологической карте Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. 2-е изд. Серия Кузбасская. Лист N-45-III (Кемерово) / под ред. А.Э. Изоха. СПб., 2001. 159 с.
- Наумов В.А., Осовецкий Б.М.** Ртутистое золото и амальгамы в мезозой-кайнозойских отложениях Вятско-Камской впадины // Литология и полезные ископаемые. 2013. № 3. С. 256–273.
- Нестеренко Г.В.** Прогноз золотого оруденения по россыпям. Новосибирск : Наука, 1991. 191 с.
- Нестеренко Г.В., Колпаков В.В.** Мелкое и тонкое золото в аллювиальных автохтонных россыпях юга Западной Сибири // Геология и геофизика. 2007. Т. 48, № 10. С. 1009–1027.
- Нестеренко Г.В., Колпаков В.В.** Аллохтонное самородное золото в предгорном аллювии юга Западной Сибири // Литология и полезные ископаемые. 2010. № 5. С. 477–495.
- Николаева Л.А., Яблокова С.В.** Типоморфные особенности самородного золота и их использование при геолого-разведочных работах // Руды и металлы. 2007. № 6. С. 41–57.
- Николаева Л.А., Некрасова А.Н., Миляев С.А., Яблокова С.В., Гаврилов А.М.** Геохимические особенности самородного золота месторождений различных рудно-формационных типов // Геология рудных месторождений. 2013. Т. 55, № 3. С. 203–213.
- Петровская Н.В.** Самородное золото. М. : Наука, 1973. 347 с.
- Петровский Д.В., Силаев В.И., Жарков В.А., Петровский В.А.** Самородное золото и его минералы-спутники в кайнозойских отложениях Предуральского краевого прогиба // Геология рудных месторождений. 2012. Т. 54, № 6. С. 557–570.
- Платонов А.Н., Санин В.Н., Аввакумов А.Е.** Геологическое строение и золотоносность Кельбес-Золотокитатского района // Руды и металлы. 1998. № 2. С. 36–46.
- Тимкин Т.В.** Эндогенная рудно-метасоматическая зональность Майско-Лебедского золоторудного поля // Известия Томского политехнического университета. 2012. Т. 320, № 1. С. 55–63.
- Торгунаков А.А., Аввакумов А.Е.** Комплексные месторождения Барзасской группы // Руды и металлы. 1998. № 2. С. 47–56.
- Черных А.И.** Нетрадиционные источники золота западной части Алтае-Саянской складчатой области // Золото Сибири и Дальнего Востока: геология, геохимия, технология, экономика, экология. Улан-Удэ, 2004. С. 235–237.
- Щербаков Ю.Г.** Геохимия золоторудных месторождений в Кузнецком Алатау и Горном Алтае. Новосибирск : Наука, 1974. 277 с.
- Щербаков Ю.Г., Рослякова Н.В., Колпаков В.В.** Федоровское месторождение золота и перспективы Южно-Сибирской рудной провинции // Геология и геофизика. 2003. № 10. С. 979–992.
- Charman R.J., Mortensen J.K., Crawford E.C., Lebarge W.** Microchemical studies of placer and lode gold in the Klondike District, Yukon, Canada: 1. evidence for a small, gold-rich, orogenic hydrothermal system in the Bonanza and Eldorado Creek area // Economic Geology. 2010. V. 105. P. 1369–1392.
- Stewart J., Kerr G., Prior D., Halfpenny A., Pearce M., Hough R., Craw D.** Low temperature recrystallization of alluvial gold in paleoplacer deposits // Ore geology reviews. 2017. V. 88. P. 43–56.

Авторы:

Колпаков Владислав Владимирович, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, лаборатория рудообразующих систем, Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия.

E-mail: vladk@igm.nsc.ru

Нестеренко Глеб Васильевич, доктор геолого-минералогических наук, ведущий инженер, лаборатория геохимии благородных и редких элементов, Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия.

E-mail: nesterenko@igm.nsc.ru

Неволько Петр Александрович, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, лаборатория рудообразующих систем, Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН; старший преподаватель, кафедра петрографии и геологии рудных месторождений, геолого-геофизический факультет, Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия.

E-mail: nevolko@igm.nsc.ru

Жмодик Сергей Михайлович, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, лаборатория геохимии благородных и редких элементов, Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН; главный научный сотрудник,

лаборатория корреляции геологических процессов, геолого-геофизический факультет, Новосибирский Государственный университет, Новосибирск, Россия.
E-mail: zhmodik@igm.nsc.ru

Geosphere Research, 2021, 3, 42–55. DOI: 10.17223/25421379/20/3

V.V. Kolpakov¹, G.V. Nesterenko¹, P.A. Nevolko^{1,2}, S.M. Zhmodik^{1,2}

¹ V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia

² Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

MINERALOGICAL-GEOCHEMICAL CHARACTERISTIC AND THE POTENTIAL ORE SOURCES OF PLACER NATIVE GOLD IN KELBES-ZOLOTOKITAT REGION (NORTH KUZNETSK ALATAU)

In Kelbes-Zolotokitat region widespread autochthonous and allochthonous placers of native gold. Some of them are still being worked off. At the same time, the gold ore mineralization is poorly studied, and there is no data on ore gold. The intermediate source of alluvial placers is the gold-bearing Cretaceous weathering crust, so the native gold in the placers is hypergenically transformed. However, the main features of its endogenous chemical composition are preserved. The article presents new data on the chemical composition of native gold from autochthonous and allochthonous placers in the region and, for the first time, on minerals, founded as microinclusions in native gold grains.

The purpose of the study was to identify the typomorphic properties and mineral associations of native gold from placers, and to predict the primary ore sources of gold, which is important for gold placer areas. The objects of the study were 7 autochthonous alluvial placers, located near primary ore sources and 2 allochthonous placers of near transport. For comparison, data on native gold from allochthonous deposits of distant transport (in the adjacent territory of the West Siberian lowland) and eluvial-deluvial placer closely related to the Olginsky Au-Cu-skarn Deposit are presented. Methods of optical and electron microscopy and microprobe analysis were used to study native gold.

Native gold in autochthonous placers is quite large and has a fineness of mostly more than 850 ‰. Of the impurity elements, other than silver, it often contains a small amount of mercury. The Association of minerals-microinclusions in gold is quite simple; pyrite, arsenopyrite, chalcopyrite, and Galena, which are typical for gold mineralization, predominate. Rarely occur in inclusions of pyrrhotite, cobaltite, gersdorffite, tellurides, and sphalerite. These features are typical for the mineralization of the gold-quartz formation. In addition, chalcopyrite and pyrrhotite are common for gold-bearing skarns. Co and Ni minerals indicate a possible connection of mineralization with rocks of increased basicity, tellurides and Bi minerals are characteristic of intrusions-related mineralization.

The gold particles in allochthonous placers is smaller, flattened and rounded, their fineness is also high, and the degree of hypergenic chemogenic transformation is higher than in autochthonous placers. Microinclusions of minerals in native gold of allochthonous placers more remote from their ore sources have not been studied.

The ore sources of gold placers in the area are associated with metamorphosed in the green shale facies, broken volcanogenic and sedimentary rocks of the kamzhelinsky formation (R₃-C₁). Known gold ore sources are represented by small vein and stockwork zones. They belong to the gold-sulfide-quartz type and do not show a clear spatial relationship with intrusions, with the exception of dikes of the main composition, which rocks of the kamzhelinsky formation are saturated. In General, Intrusive magmatism in the area is weak. Gold-sulfide-quartz deposits of the Kuznetsk Alatau (Berikul Group, Zentralnoye, Komsomolskoye, etc.), on the contrary, are localized in intrusions or in significantly volcanogenic strata. Mineralization is characterized by a significantly more variegated mineral composition and lower gold fineness than in gold-quartz deposits.

The predominant ore source of gold in the studied placers is most likely gold-quartz mineralization associated with the rocks of the kamzhelinsky formation. The weak occurrence of Intrusive magmatism in the area does not exclude, however, the existence of associated ore sources of gold-skarn or gold-sulfide-quartz types that participated in the feeding of placers. The obtained data contribute to the information about the gold mineralization in Kelbes-Zolotokitat region and important for its prediction.

Keywords: native gold, placers of gold, ore sources of gold, Kuznetsk Alatau

References

- Alabin L.V., Kalinin Yu. A. *Metallogeniya zolota Kuznetskogo Alatau* [Metallogeny of gold in Kuznetsk Alatau]. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN. 1999. 237 p. In Russian
- Gas'kov I.V. Major impurity elements in native gold and their association with gold mineralization settings in deposits of Asian folded areas // *Russian Geology and Geophysics*. 2017. V. 58 (9). pp. 1080–1092.
- Gusev V.A., Nesterenko G.V., Zhmodik S.M., Belyanin D.K. Two types of platinum group minerals assemblages from the gold-bearing placers of Northwest Kuznetsk Alatau // *Geosphere Research*. 2020. No 1. pp. 19–32. In Russian
- Zhmodik S.M., Nesterenko G.V., Airiyants E.V., Belyanin D.K., Kolpakov V.V., Podlipsky M.Y., Karmanov N.S. Alluvial platinum-group minerals as indicators of primary PGE mineralization (placers of southern Siberia) // *Russian Geology and Geophysics*. 2016. V. 57 (10). pp. 1437–1464.
- Zolotonosnost kor vyvetrivaniya Salaira* [The gold-bearing weathering crusts of Salair] / N.A. Roslyakov, G.V. Nesterenko, Yu.A. Kalinin, I.P. Vasiljev, A.I. Nevolko, N.V. Roslyakova, S.R. Osintsev, V.G. Sviridov, V.V. Kolpakov, L.P. Boboshko. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN. 1995. 170 p. In Russian
- Kazarinov V.P. *Mezozoiskije i kainozoiskije otlogenija Zapadnoi Sibiri* [Mesozoic and Cenozoic deposits of Western Siberia]. Moscow: Izd-vo nefjanoi i gorno-toplivnoi literatury. 1958. 324 p. In Russian
- Kolpakov V.V., Nevolko P.A., Fominykh P.A. *Typochimizm i mineralnye assotiazii samorodnogo zolota kory vyvetrivaniya Egor'evskogo rudno-rossypnogo raiona (severo-sapadnyi Salair)* [Typochemistry and mineral Associations of Native Gold of the weathering Crust in Egor'yevsky ore-placer Region (North-Western Salair)] // *Geologija i Mineral'no-Syrjevyje Resursy Sibiri*. 2020. No 2. pp. 96–109. In Russian

Kurtigeshev V.S., Bychkov A.I., Shatilova G.A., Skrebkov A.V., Efremova N.M. *Ob'yasnitel'naya zapiska k gosudarstvennoy geologicheskoy karte Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1:200 000. Izdaniye vtoroye. Seriya Kuzbasskaya. List N-45-III (Kemerovo)* [Explanatory note to the state geological map of the Russian Federation on a scale of 1: 200 000. Second edition. Series Kuzbass. Sheet N-45-III (Kemerovo)] / ed. by A.Je. Izokh. St. Petersburg, 2001. 159 p. In Russian

Naumov V.A., Osovetsky B.M. Mercuriferous gold and amalgams in Mesozoic-Cenozoic rocks of the Vyatka-Kama depression // *Lithology and Mineral Resources*. 2013. V. 48 (3). pp. 237–253.

Nesterenko G.V. *Prognoz zolotogo orudneniya po rossyptom (na primere rayonov yuga Sibiri)* [Prognosis of Gold Mineralization based on Placers] // Novosibirsk: Nauka, 1991. 191 p. In Russian

Nesterenko G.V., Kolpakov V.V. Fine gold particles and gold dust in alluvial autochthonous placers in Southern West Siberia // *Russian Geology and Geophysics*. 2007. V. 48 (10). pp. 783–798.

Nesterenko G.V., Kolpakov V.V. Allochthonous native gold in piedmont alluvium in the southern West Siberia // *Lithology and Mineral Resources*. 2010. V. 45 (5). pp. 425–442.

Nikolaeva L.A., Yablokova S.V. *Tipomorfnye osobennosti samorodnogo zolota I ih ispolzovanie pri geologo-razvedochnykh rabotakh* [Typomorphic features of native gold and their use in geological exploration] // *Rudy i metally*. 2007. (6). pp. 41–57. In Russian

Nikolaeva L.A., Nekrasova A.N., Milyaev S.A., Yablokova S.V., Gavrilov A.M. Geochemistry of native gold from Deposits of various types // *Geology of Ore Deposits*. 2013. 55 (3). pp. 176–184.

Petrovskaya N.V. *Samorodnoe zoloto* [Native Gold]. Moscow: Nauka. 1973. 347 p. In Russian

Petrovsky D.V., Silaev V.I., Zharkov V.A., Petrovsky V.A. Native gold and comparison minerals in the Cenozoic sediments of the Ural foredeep // *Geology of Ore Deposits*. V. 54 (6). 2012. pp. 474–486.

Platonov A.N., Sanin V.N., Avvakumov A.E. *Geologicheskoye stroeniye i zolotonosnost' Kel'bec-Zolotokitatskogo rayona* [Geological Structure and Gold Potential of the Kel'bes-Zolotokitat Region] // *Rudy i Metally*. 1998. No 2. pp. 36–46. In Russian

Timkin T.V. *Endogennaya rudno-metasomaticheskaya zonalnost Maisko-Lebedskogo zolotorudnogo polya* [Endogenous ore-metasomatic zonality in Maysk-Lebedsky gold field] // *Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta*. 2012. V. 320 (1). pp. 55–63. In Russian

Torgunakov A.A., Avvakumov A.E. *Kompleksnyye mestorogdeniya Barzasskoi gruppy* [Complex deposits of the Barzas group] // *Rudy i Metally*. 1998. No 2. pp. 47–56. In Russian

Tchernykh A.I. *Netraditsionnye istochniki zolota zapadnoi tchasti Altae-Sayanskoi skladchatoi oblasti* [Unconventional sources of gold in the Western part of the Altai-Sayan folded region] // *Zoloto Sibiri i Dal'nego Vostoka; geologiya, geokhimiya, tekhnologiya, ekonomika, ekologiya*. Ulan-Ude. 2004. pp. 235–237. In Russian

Scherbakov Yu.G. *Geokhimiya solotorudnykh mestorogdenii v Kuznetskom Alatau i Gornom Altae* [Geochemistry of gold deposits in the Kuznetsk Alatau and the Gorny Altai]. Novosibirsk: Nauka. 1974. 277 p. In Russian

Scherbakov Yu.G., Roslyakova N.V., Kolpakov V.V. *Fedorovskoe mestorogdenie zolota I perspektivy yugno-Sibirskoi rudnoi provincii* [Fedorovskoe gold Deposit and prospects of the South Siberian ore province] // *Geologiya i geofizika*. 2003. No 10. pp. 979–992. In Russian

Chapman R.J., Mortensen J.K., Crawford E.C., Lebarge W. Microchemical studies of placer and lode gold in the Klondike District, Yukon, Canada: 1. evidence for a small, gold-rich, orogenic hydrothermal system in the Bonanza and Eldorado Creek area // *Economic Geology*. 2010. V. 105. pp. 1369–1392.

Stewart J., Kerr G., Prior D., Halfpenny A., Pearce M., Hough R., Craw D. Low temperature recrystallization of alluvial gold in paleoplacer deposits // *Ore Geology Reviews*. 2017. V. 88. pp. 43–56.

Author's:

Kolpakov Vladislav V., Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Senior Researcher, laboratory of ore-forming systems, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia.

E-mail: vladk@igm.nsc.ru

Nesterenko Gleb V., Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Lead Engineer, Laboratory of noble and rare elements geochemistry, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia.

E-mail: nesterenko@igm.nsc.ru

Nevolko Petr A., Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Senior Researcher, laboratory of ore-forming systems, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS; Senior Lecturer, Section of Petrography and Ore Deposits Geology, Department of Geology and Geophysics, Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia.

E-mail: nevolko@igm.nsc.ru

Zhmodik Sergey M., Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Chief Researcher, Laboratory of noble and rare elements geochemistry, V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS; Chief Researcher, Geological Processes Correlation Laboratory, Department of Geology and Geophysics, Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia.

E-mail: zhmodik@igm.nsc.ru