

ТИПОМОРФИЗМ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА КЛЮЧЕВСКОГО РУДНО-РОССЫПНОГО
УЗЛА (ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

Ю.И. Тарасова¹, Ю.Д. Щербаков¹, С.В. Ефремов¹, А.Е. Будяк¹, Н.А. Горячев^{1,2}, В.А. Ванин³,
А.В. Чугаев⁴

¹Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Иркутск, Россия; e-mail: j.tarasova84@yandex.ru

²Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило ДВО РАН, Магадан, Россия

³Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

⁴Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва, Россия

Поступила в редакцию 31 июля 2025 г.

В данной статье представлены итоги исследования морфологии, гранулометрического и химического составов характерных парагенезисов минералов самородного золота Ключевского месторождения, а также их сопоставление с золотом россыпных источников Давенда-Ключевского района. Проведенное исследование ясно демонстрирует, что самородное золото из россыпей Давенда-Ключевского рудно-россыпного узла по пробности, гранулометрическим параметрами и минеральным ассоциациям соответствует золоту из коренного источника.

На основании взаимоотношений минералов выделены две разновидности самородного золота, отличающиеся по пробности. Кристаллизация самородного золота с пониженной пробностью связана с наиболее ранними процессами формирования Ключевского месторождения, отложение золота с относительно повышенной пробностью – с влиянием более поздних гидротермальных растворов, что подтверждается синхронным формированием минералов полиметаллической ассоциации. Бимодальный характер распределения золота свойственен всем золото-сульфидно-кварцевым объектам региона.

Приведённые в работе результаты дают основание предполагать влияние интрузий амананского и амуджикано-сретенского комплексов на формирование разностадийной минерализации месторождения Ключевское. Специфика химического состава самородного золота и его ассоциация с определенными сульфидами подкрепляют гипотезу о двух стадиях формирования золоторудной минерализации. Это также согласуется с фактом тесной ассоциации самородного золота с турмалином и более поздним формированием крупных метасоматических кристаллов пирита, близких по времени к агрегатам поздних минеральных ассоциаций, включающих блеклую руду, галенит, сфалерит и арсенопирит.

Сравнительный анализ золота из коренных месторождений и россыпей дает возможность не только устанавливать источники последнего, но и дает возможность получать дополнительные данные для уточнения генезиса золото-кварц-сульфидных объектов Восточного Забайкалья.

Ключевые слова: самородное золото, россыпи, турмалин, Ключевское месторождение, Восточное Забайкалье.

ВВЕДЕНИЕ

Восточно-Забайкальский край известен с середины прошлого века как крупный горно-промышленный регион, где ведется активная добыча коренного и россыпного золота. Богатая история золотодобычи в этом регионе во многом определила интерес исследователей к вопросам условий образования [4, 21, 22, 27, 31, 41, 39, 54], геохимических характеристик [7, 8], изотопно-геохимических черт [2] и возраста руд-

ных тел [38]. Вопрос взаимосвязи гранитных массивов и рудной минерализации в пределах Забайкальского региона давно обсуждается исследователями [9, 24–26, 28, 29, 48, 49, 52]. Детально изучены этапы минерализации [17, 46] и разработаны генетические модели формирования месторождений этой территории [1, 16, 19, 21]. Кроме того, существует ряд работ, посвященных связи самородного золота из коренных источников с россыпными объектами Давенда-

Ключевского рудно-россыпного узла [13] и других объектов Забайкалья [10–12]. Для полноценного понимания генезиса и перспектив золотоносности Давенда-Ключевского узла необходим детальный анализ различных типов самородного золота как из коренных источников, так и из россыпных объектов. Результаты изучения морфологии, гранулометрического состава, структуры поверхности, а также минерального состава сопутствующих ассоциаций позволяет реконструировать условия его образования и последующей транспортировки.

Изучение минералогических и геохимических особенностей самородного золота является важным источником генетической информации, которая может быть использована для прогнозирования и поисков месторождений золота аналогичных типов. В настоящей работе представлены результаты изучения морфологических особенностей, гранулометрии, закономерностей химического состава и типоморфных парагенезисов минералов самородного золота Ключевского месторождения, а также их сравнение с золотом из россыпей Давенда-Ключевского узла. Исследования проводились на образцах руд, отобранных из коренных источников Ключевского месторождения, а также на шлиховых пробах из россыпей Давенда-Ключевского узла. Использовались методы оптической и сканирующей электронной микроскопии (SEM). Полученные нами результаты имеют практическую значимость в вопросах прогнозирования и проведения поисковых работ, а также уточнения генезиса рудных объектов. Полученные данные позволяют уточнить генетические модели формирования Ключевского месторождения и оценить перспективность золотоносности Давенда-Ключевского узла.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом изучения являлось самородное золото, отобранное как из Ключевского месторождения, в пределах главного рудного тела (14 частиц), так и из россыпи (рис. 1) в борту р. Боровой (56 знаков). В работе изучались полированные аншлифы и полированные шашки, выполненные из штучных и шлиховых проб. Отбор частиц золота проводился с помощью бинокулярного Микромед MC-5 zoom LED, далее были изготовлены полированные шашки на эпоксидной основе. Изучение аншлифов и включений в частицах самородного золота проводилось в отраженном свете с помощью рудного микроскопа Olympus BX-53M. Диагностическое травление самородного золота проводилось в царской водке. Время обработки зерен составляло 4 ± 1 мин. Химический состав самородного золота и сульфидов изучен на сканирующем микроскопе MIRA3 LMN Tescan, эксплуатируемом в Центре

коллективного пользования «Изотопно-геохимических исследований» ИГХ СО РАН. Структурирование полученных результатов проведено на основе классификации Н.В. Петровской [18].

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ

Давенда-Ключевской рудный узел, являющийся составной частью Могочинского рудного района, расположен в раннепалеозойской складчатой области на юго-западной окраине Алдано-Витимского щита, примыкая к Монголо-Охотскому разлому. В геологическом строении района принимают участие метаморфогенные и магматические образования архейского возраста, а также интрузивные породы ранне-, позднепалеозойского и мезозойского возрастов [5, 6].

Древнейшие магматические образования Давенда-Ключевского рудного узла представлены выходами архейских пород амazarского (δAR_2a) комплекса. Диориты, метадиориты, диоритогнейсы имеют незначительное распространение в его южной части. Они слагают небольшие разрозненные тела в поле развития гнейсовидных гранитов раннепалеозойского возраста (рис. 1).

Преобладающая часть территории района сложена раннепалеозойскими интрузивными породами, представленными образованиями двух комплексов: кручининского (vPZ_{1k}) и олекминского (γPZ_{1o}). Породы кручининского (vPZ_{1k}) комплекса, представленные мелко- и среднезернистыми габбро, габбродиоритами и диоритами, имеют незначительное распространение и картируются в основном в западной части описываемой площади в виде небольших массивов. Олекминский (γPZ_{1o}) комплекс объединяет раннепалеозойские гранитоиды, имеющие характерные признаки полигенных образований. Интрузии олекминского комплекса широко распространены в бассейнах рр. Давенда, Ключи, Кудечи и представлены неравнозернистыми гнейсовидными биотитовыми и биотит-амфиболовыми гранитами и гранодиоритами. Гранитоиды комплекса слагают в пределах рудного узла крупный массив, строение которого сильно осложнено наличием интрузивных тел более молодого возраста.

Породы амананского комплекса (J_{2-3a}) слагают крупный Давендинский массив, протягивающийся через всю площадь рудного узла в северо-восточном направлении (рис. 1). Он приурочен к зоне глубинного Могочинско-Бушулейского разлома. Длина массива около 50 км, ширина 2–5 км.

Интрузивные образования амуджиканского и сретенского комплекса (J_3as) представляют собой родственные образования, характеризующиеся од-

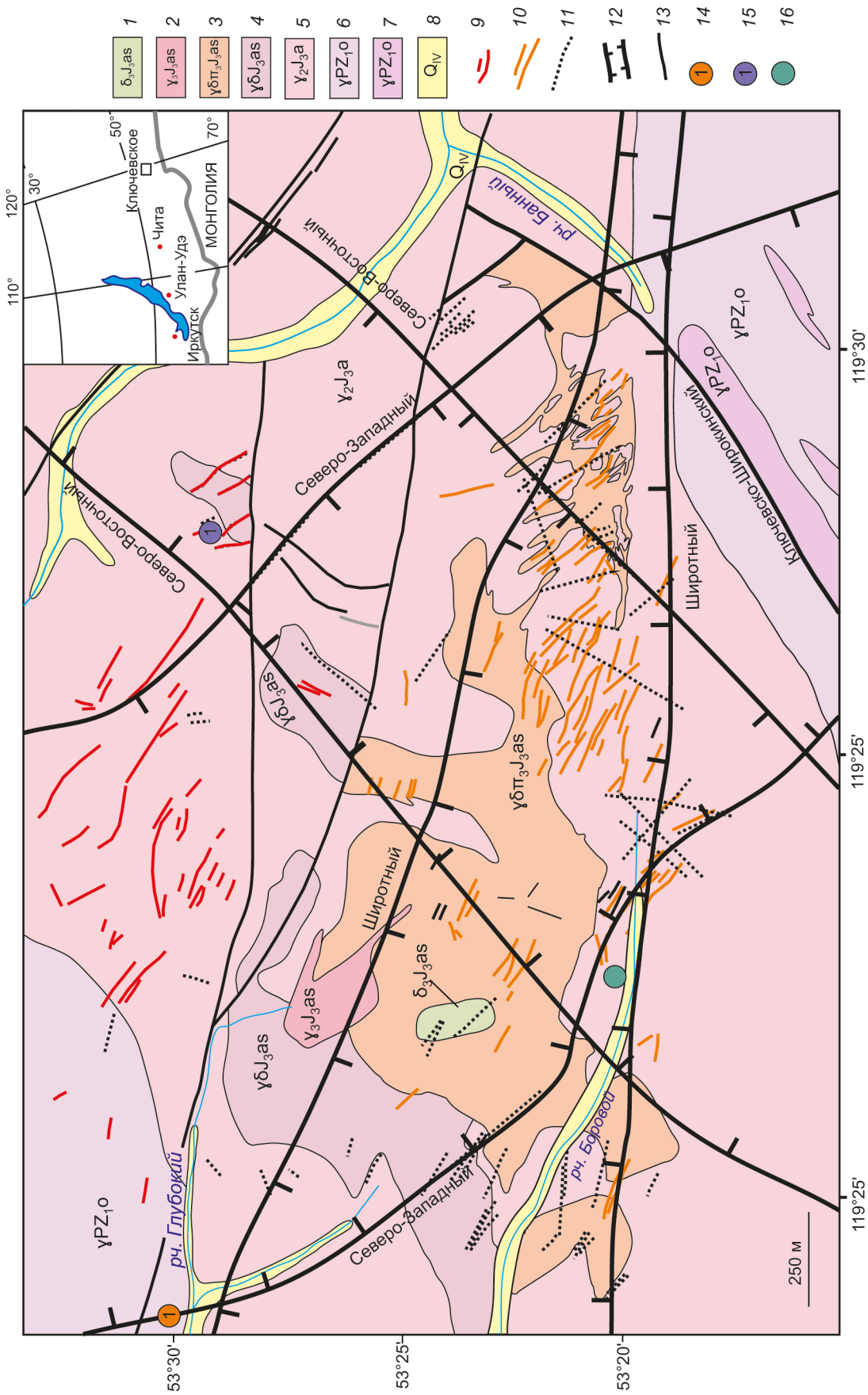


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Давенда-Ключевского рудного узла [12, 15].

Амуджикано-среденский комплекс ($J_3 as$): 1 – гибридные порфиры ($\delta_3 J_3 as$) III фаза, 2 – диоритовые порфиры ($\gamma_3 J_3 as$) II фаза, 3 – гранит-порфиры ($\gamma_{\text{дл.}} J_3 as$) III фаза, 4 – гранодиорит-порфиры ($\gamma_{\text{дл.}} J_3 as$) II фаза; амананский комплекс ($J_2 J_3 a$): 5 – аплитовидные граниты ($\gamma_2 J_3 a$); олекминский комплекс ($PZ_1 o$): 6 – граниты и гнейсовидные граниты ($\gamma PZ_1 o$), 7 – гнейсы ($\gamma PZ_1 o$); 8 – четвертичные отложения; 9 – молибденит-кварцевые жилы; 10 – золото-пирит-кварц-турмалиновые брекчии; 11 – кварц-турмалиновые брекчии; 12 – зоны разломов; 13 – разломы, выходящие на поверхность; 14 – месторождения Au; 15 – месторождения Mo; 16 – место отбора россышного золота.

Таблица. Минералы-спутники самородного золота Давенда-Ключевского рудного узла.

Источники золота	Ассоциации минералов
Золото Ключевского месторождения	Пирит, блеклые руды, арсенопирит, халькопирит, теллуриды висмута
Россыпное золото	Пирит, магнетит, теллуриды висмута, галенит, турмалин, слюды

ной металлогенической специализацией и целым рядом сходных специфических петрологических особенностей. В составе объединенного амуджикано-сретинского комплекса выделяются три фазы: I фаза – кварцевые монзониты, кварцевые диориты, кварцевые монзонит-порфиры, диориты, субщелочные кварцевые диориты; II фаза – гранодиорит-порфиры и диоритовые порфириты, гранит-порфиры, порфировидные гранодиориты, кварцевые сиениты, граниты; III фаза – крупно-, гигантопорфировидные граниты, гранодиориты, гранит-порфиры, гранодиорит-порфиры, кварцевые сиенит-порфиры. Возраст интрузивных пород амуджикано-сретинского комплекса оценивается как позднеюрский: от 162 до 145 млн лет [3, 26, 37].

Ключевское золоторудное месторождение является составной частью одноименного рудного поля, в котором преимущественно распространены граниты и гранодиориты первой фазы амананского комплекса, прорванные штоками гранодиорит-порфиров и гранит-порфиров амуджикано-сретинского комплекса и дайками диоритовых порфиритов, гибридных порфиров, поздних лампрофиров и фельзитов. Наиболее широко развиты гранитоиды амананского комплекса, слагающие Давендинский массив. Массив представляет собой трещинную интрузию, вытянутую в северо-восточном направлении на десятки километров. Ширина выхода интрузии составляет 2–3 км с падением на северо-запад под углами 70–80°. Ключевское рудное поле расположено в пределах массива в той его части, где доминирующее северо-восточное простирание (40–50°) сменяется субширотным.

Структурная позиция Ключевского месторождения определяется, с одной стороны, приуроченностью его к тектоническому контакту с Давендинским массивом и, с другой стороны, к месту пересечения Ключевско-Давендинского разлома с зоной вышеупомянутого контакта. В пределах месторождения интрузия гранодиорит-порфиров имеет сложную морфологию и представляет собой вытянутое в широтном направлении дайкообразное тело.

Рудная минерализация на Ключевском месторождении представляет собой крупномасштабный штокверк в сочетании с отдельными жилами и зонами прожилково-вкрапленной минерализации. Жильные тела и зоны прожилково-вкрапленной минерализации развиты на флангах месторождения. Рудные тела со-

провождаются ореолами различной мощности гидротермально-метасоматических изменений во вмещающих породах.

Золотоносный штокверк является основным промышленным рудным телом на Ключевском месторождении. Штокверк представляет собой сочетание разноориентированных кварц-турмалиновых, турмалин-пиритовых жил и прожилков, брекчий вмещающих пород с кварц-турмалиновым цементом в интенсивно метасоматически измененных гранитах и гранодиорит-порфирах, сгруппированных в зону широтного простирания. Мощность штокверка от 5 до 100 метров, протяженность – от 700 до 1200 м; падение на север под углом 80–85°, азимут простирания 330°.

Руды месторождения относятся к умеренно сульфидным. Главными минералами являются кварц и турмалин, составляющие 70–80 об. %. Из рудных минералов существенно преобладает пирит – 5–10 об. %. В значительно меньших количествах отмечается арсенопирит (1–3 об. %), халькопирит (1–2 об. %) и блеклые руды (1–2 об. %). В подчиненном количестве присутствуют галенит, сфалерит и др. Среди жильных минералов постоянно отмечается серицит, карбонаты, хлориты и др. Самородное золото изменяется по размеру от первых долей миллиметра до нескольких миллиметров и локализуется в трещинах и пустотах кварца и сульфидных минералов. Морфология частиц золота чаще комковидная. Пробность золота изменяется в пределах 730–900.

Многими исследователями как для Ключевского месторождения [38], так и для других близких рудных объектов Восточного Забайкалья, отмечена генетическая связь и пространственная сближенность золоторудной минерализации и гранитоидного позднеюрского магматизма. Нами на Ключевском месторождении выделяются следующие последовательно развивающиеся минеральные ассоциации: кварц-молибденитовая, кварц-турмалиновая, кварц-пиритовая, кварц-полиметаллическая, карбонат-кварцевая.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Рудное золото

Самородное золото из рудной зоны месторождения Ключевское устанавливается в двух разновидностях: ранняя – в виде включений в турмалине; более поздняя – в интерстициях минералов полиметаллической ассоциации (табл.).

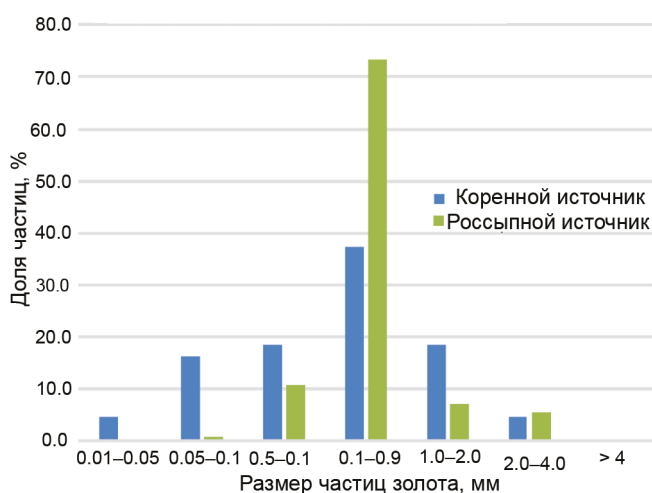


Рис. 2. Распределение крупности частиц самородного золота Давенда-Ключевского узла.

Гранулометрический состав

Размер частиц самородного золота из коренных отложений Ключевского месторождения варьирует от 0.001 мм до 2.0 мм (рис. 2). Согласно классификации [18], преобладает мелкое (0.1–0.9 мм) золото (70 %); в подчиненном количестве отмечается золото пылевидное (0.01–0.05 мм), очень мелкое (0.05–0.1), средней крупности (1–2 мм), крупное (2–4 мм).

Пылевидные частицы самородного золота (0.01–0.05 мм) установлены в виде включений в турмалине и относятся к ранней разновидности. Наиболее богатыми на золото являются участки, где развита полиметаллическая ассоциация. Здесь золото достигает размера в несколько миллиметров и локализуется в трещинах и пустотах между зерен пирита, минералов группы блеклых руд, а также арсенопирита.

Морфология частиц самородного золота также отличается у выделившихся ранее разновидностей самородного золота. Так более раннее самородное золото характеризуется округлыми, аллотриоморфными формами. В то время как более позднее золото за счет его развития в интерстициальных пустотах характеризуется угловатой, пластинчатой, жилковидной и комковидной морфологией (рис. 3).

Пробность золота, отобранного из Ключевского месторождения, варьирует от 730 до 930 ‰ (рис. 4) Золото ранней разновидности характеризуется пробностью 850–870 ‰. Среди элементов-примесей в золоте из ранней разновидности отмечается только Ag, наиболее часто устанавливается (до 80 ‰). Золото более поздней разновидности харак-

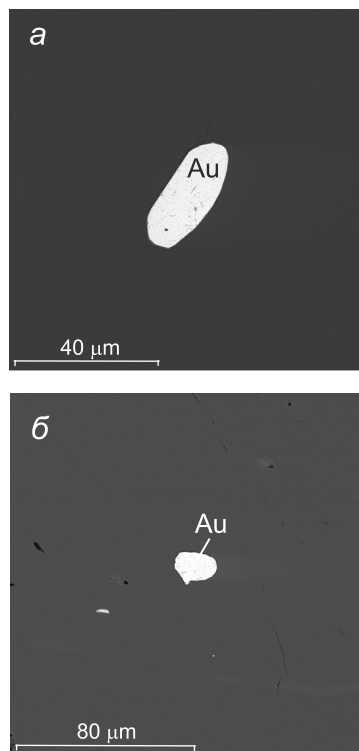


Рис. 3. Мелкие частицы самородного золота в зерне пирита.

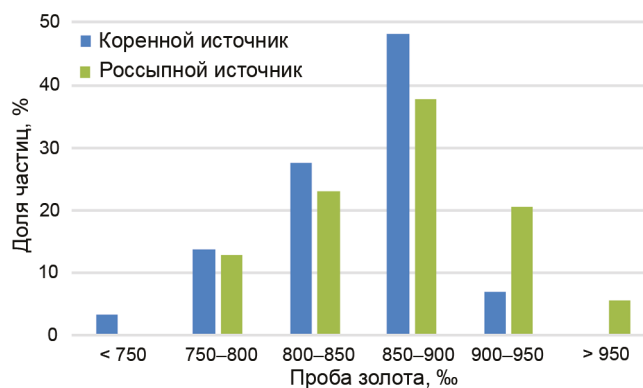


Рис. 4. Распределение пробности частиц самородного золота Давенда-Ключевского узла.

теризуется пробностью 860 до 930 ‰. Наиболее распространено золото с пробностью около 860–870 ‰. Среди элементов примесей в золоте из коренного источника наиболее часто устанавливается (до 110 ‰) серебро, которое является весьма типичной примесью для золота мезотермальных золоторудных месторождений. Кроме того, отмечается примесь меди до 1.13 ‰. Согласно классификации [18], обнаруженные частицы можно отнести к умеренно высокопробному (рис. 4).

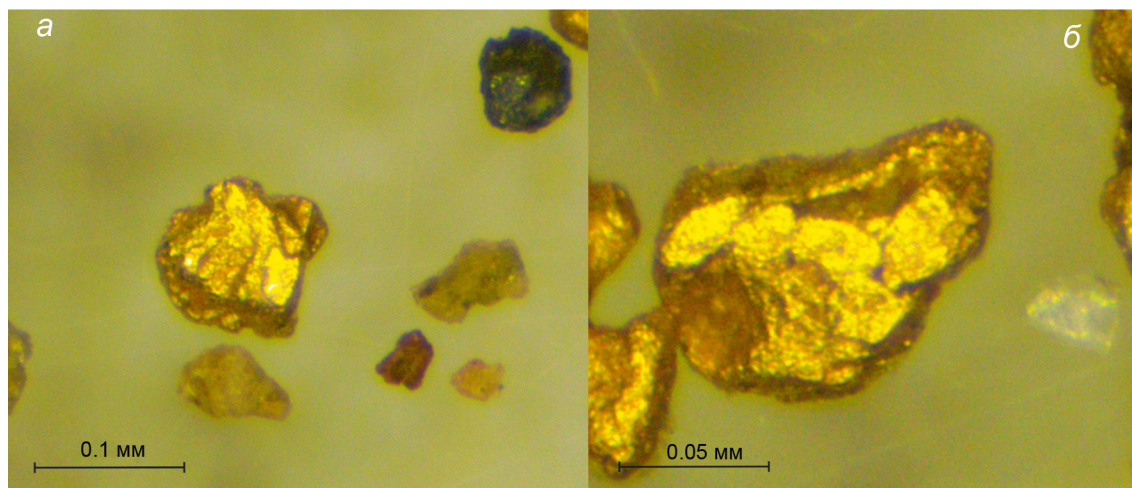


Рис. 5. Частицы очень мелкого самородного золота из россыпи.

Внутреннее строение частиц самородного золота. В результате травления части зерен самородного золота установлено, что большинство из них имеет зернистое или губчатое строение.

Золото из россыпей

Для изучения россыпного золота были опробованы рыхлые отложения в борту ручья, не подверженные воздействию промышленных горных работ (рис. 1). В составе тяжелой фракции шлихового концентрата отмечается значительное количество ильменита, циркона, пирита шеелита, магнетита, пирротина. В сером концентрате присутствуют амфиболы, пироксены, биотит, минералы легкой фракции, фрагменты лимонитизированных пород. В шлиховых пробах россыпи руч. Малый Боровой отобрано 56 зерен самородного золота, весьма разнообразных по своим характеристикам. Учитывая невозможность в пробах их россыпей оценить ассоциации, в которых оно находится, для классификации частиц мы были вынуждены опираться на морфологические и гранулометрические параметры и особенности химического состава.

Гранулометрический состав

По гранулометрическому составу, согласно классификации [18], выделено 4 группы частиц: очень мелкое золото (0.05–0.1 мм), мелкое золото (0.1–0.9 мм), золото средней крупности (1–2 мм) и крупное золото (2–4 мм). Преобладает мелкое золото, его доля достигает 73 % (рис. 2). Пылевидные частицы самородного золота (0.01–0.05 мм) в пробах из россыпей не установлены.

Морфология зерен самородного золота отличается в зависимости от размеров частиц. Очень мелкое характеризуется сохранившимися первичными эндо-

генными признаками, окатанность и уплощенность частиц слабая (рис. 5). В виде включений в нем отмечаются мелкие идиоморфные кристаллы пирита, турмалина, магнетита, теллуриды висмута, галенит, чешуйки хлорита и мусковита, а также кварц (рис. 6). В турмалине, находящемся в ассоциации с очень мелким самородным золотом, установлены тонкие просечки самородного золота меньшей пробы, предположительно более ранней генерации (рис. 6).

Мелкое золото представлено в большей степени комковатыми, слабо вытянутыми, скругленными частицами золота (рис. 7), в целом окатанность и уплощенность частиц также слабая. В частицах золота этой группы установлены включения мелких кубических кристаллов пирита, арсенопирита и частички слюд и кварца (рис. 8). По периферии зерен отмечается более высокопробная кайма (рис. 8).

В более крупной фракции широко развиты частицы неправильной формы, дендритовидные с вытянутыми отростками (рис. 9). В сростках с самородным золотом крупной фракции установлены пирит, магнетит, турмалин, теллуриды висмута, слюды, рутил, циркон и галенит.

Пробность золота, обнаруженного в россыпях, изменяется в интервале от 880 до 999 ‰ и отличается для выделенных выше групп. Так, очень мелкое золото характеризуется высокой и равномерной пробностью от 880 до 900 ‰. Пробность мелкого золота характеризуется несколько более высокой пробностью (860–920 ‰) всего зерна. Для мелкого и очень мелкого золота отмечается только примесь Ag.

Золото средней крупности и крупное золото характеризуется высокой, равномерно распределенной пробностью (910–960) ‰, из примесей отмечаются

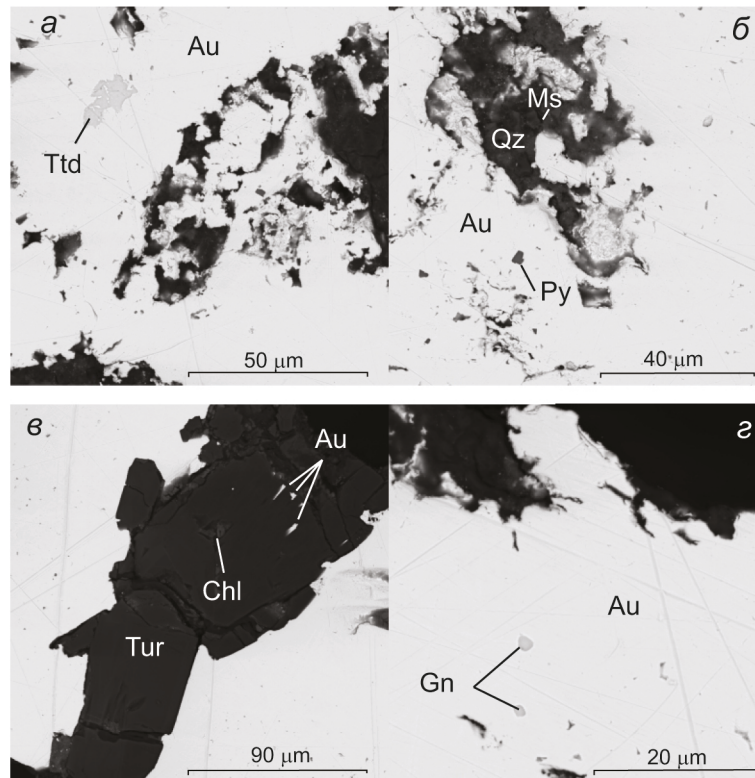


Рис. 6. Включения в очень мелком самородном золоте из россыпи.

Здесь и далее: Au – самородное золото, Ttd – тетрадимит, Ms – мусковит, Qz – кварц, Py – пирит, Tur – турмалин, Chl – хлорит, Gn – галенит.

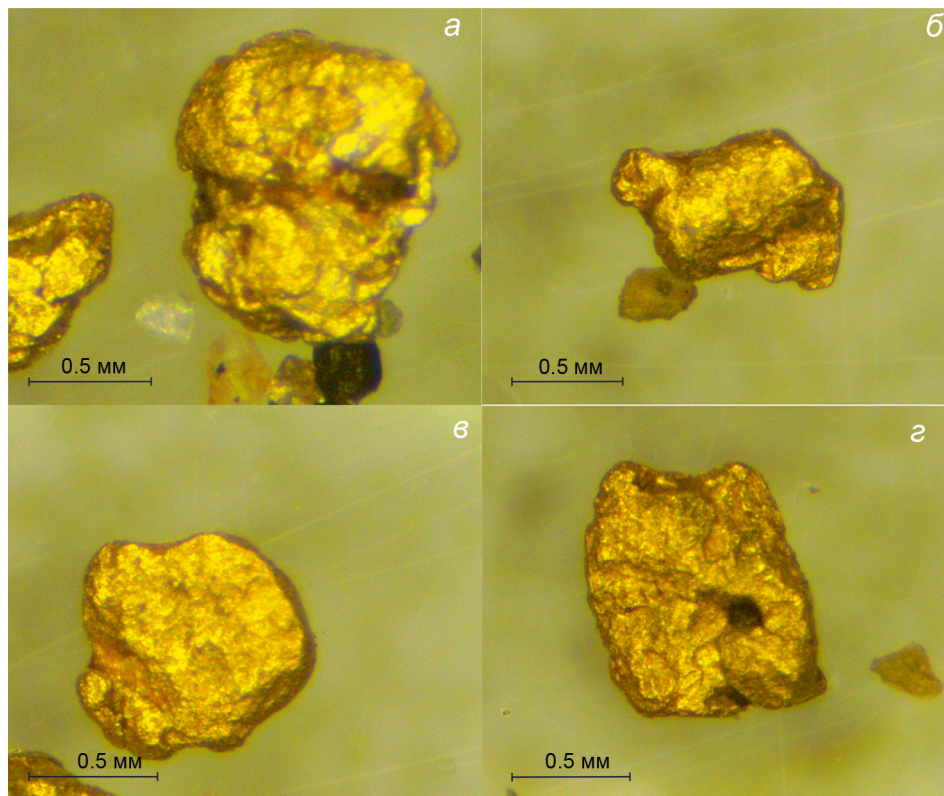


Рис. 7. Комковатые частицы мелкого самородного золота из россыпи.

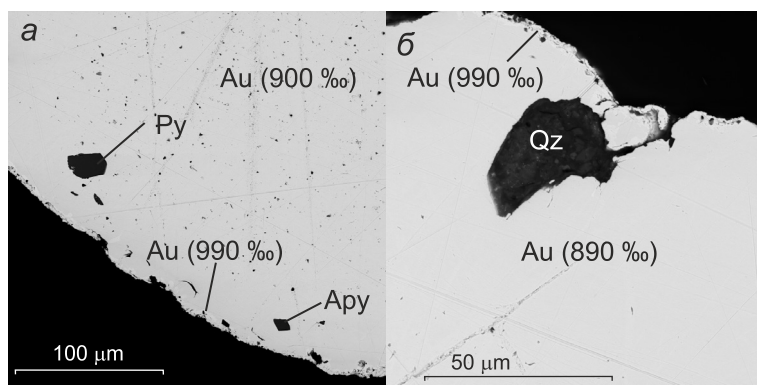


Рис. 8. Включения пирита (а) и кварца (б) в окатанных зернах мелкого самородного золота с каймой обогащения из россыпи.

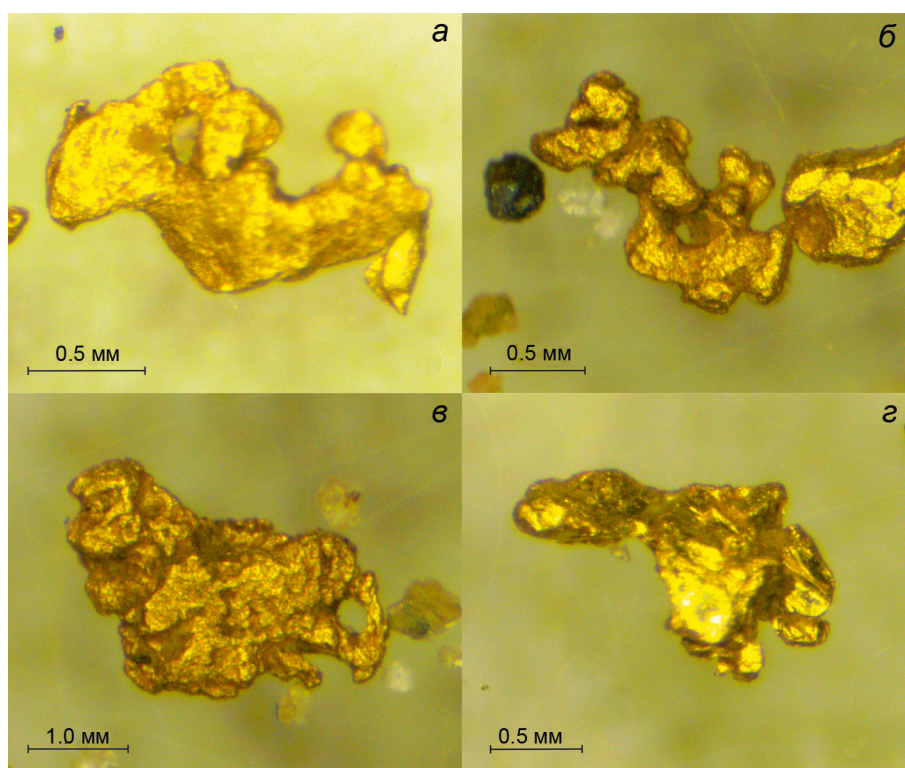


Рис. 9. Крупное самородное золото комковидное, представленное сростками кристаллов, слабо окатанное. В верхнем ряду частицы с хорошей сохранностью гранных форм, в нижнем – с частичным сохранением гранных форм.

Ag и Cu. В виде включений в крупном золоте и средней крупности установлены округлые включения пылевидного золота, характеризующегося пониженной пробностью (860–870 ‰). Кроме того, важной особенностью самородного золота средней крупности и крупного золота из россыпей является появление каймы с пробностью до 999 ‰. Также в этих зернах установлены тонкие прожилки высокопробного (970–990 ‰) золота, которое, предположительно, залечивает трещинки.

Внутреннее строение частиц самородного золота – зернистой или пятнистой структуры.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Сопоставление полученных результатов изучения самородного золота из рудной зоны Ключевского месторождения и из шлиховых проб, таких как типоморфные минеральные ассоциации, состав золота, морфологические особенности и гранулометрический состав, показывает, что по многим характеристикам

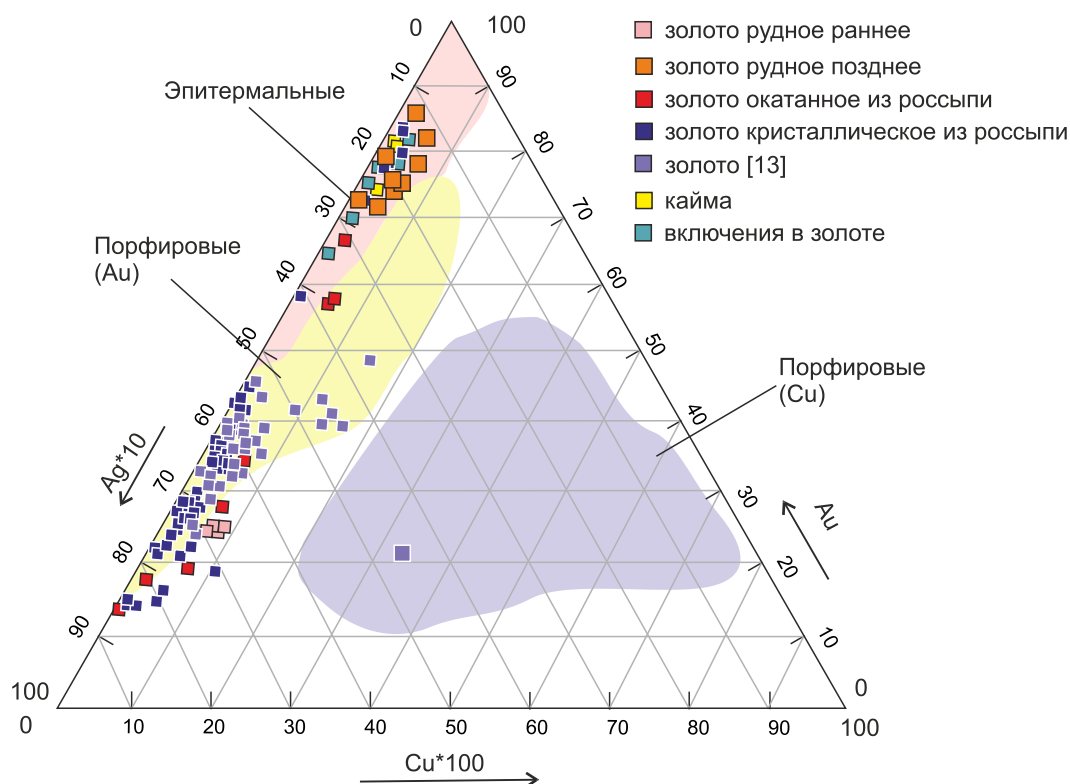


Рис. 10. Дискриминационная диаграмма [53] состава золота из коренных и россыпных источников Забайкальского края.

они хорошо согласуются между собой. В целом, данный вывод не противоречит результатам аналогичных исследований для Давенда-Ключевского рудного узла [13, 14] и в целом для месторождений Забайкальского региона [50]. Кроме того, в большинстве россыпей района преобладает слабо окатанное золото, часто сохранившее первичную морфологию и сростки, что указывает на тесную связь с коренными источниками. Это повышает объем информации, а следовательно, достоверность выводов об условиях формирования минерализации, при комплексном изучении рудного и россыпного золота.

Отдельно следует обратить внимание на высокопробные каймы частиц самородного золота из россыпей. Их не следует оценивать как первичные, т.к. длительное нахождение частиц самородного золота в приповерхностных средах приводит к удалению Ag путем растворения по границам, в то время как Au остается. Все имеющиеся исследования свидетельствуют в пользу формирования высокопробного ободка путем удаления Ag, а не добавления Au [36].

На основании работы [53], демонстрирующей связь изменения содержаний Au–Ag–Cu для различных месторождений, нами была построена аналогичная тройная диаграмма (рис. 10), отражающая составы рудного и россыпного золота. По результа-

там анализа химического состава самородного золота, включений в нем и минеральных ассоциаций, связанных с ним, можно выделить две отличающиеся группы. Самородное золото с пониженной пробностью, фиксируемое как в карьере, так и в россыпях, можно связать с наиболее ранними процессами формирования Ключевского месторождения. Другая группа золотин, характеризующаяся относительно повышенной пробностью, является результатом влияния поздних гидротермальных растворов одновременно с выделением минералов полиметаллической ассоциации. Пятнистые структуры самородного золота, предположительно, можно объяснить тем, что на более ранних этапах формирования зерен были образованы мелкие кристаллические частицы, послужившие затравкой для последующего нарастания золота, связанного с более поздними процессами перераспределения вещества. Выделение двух типов золоторудной минерализации наглядно подтверждается результатами диагностического травления, а также изменчивостью пробности и содержания элементов-примесей в виде включений и прожилков в самородном золоте.

Колебания химического состава самородного золота являются отражением условий его формирования. В результате проведенного исследования на-

глядно показано, что пробность самородного золота и сопутствующие ассоциации свидетельствуют не об одновременном отложении выделенных разновидностей. Возможно существует несколько продуктивных ассоциаций, образованных при различных физико-химических условиях.

На основании изучения большого количества самородного золота месторождений различных типов проведены работы по анализу и сопоставлению состава самородного золота коренных [43, 45, 51, 53] и аллювиальных источников [50]. В состав самородного золота в виде твердых растворов наиболее часто входит Ag, существенно реже отмечаются Cu, Fe, As и Bi, наличие которых напрямую зависит от термодинамических условий переноса и осаждения, а также от общего содержания металлов в системе [40, 47, 52]. Температурная зависимость содержания Cu в сплаве Au–Ag, предложенная [33], подтверждается и для относительно высоких концентраций Cu в золоте магмато-гидротермальных систем [34, 35, 47]. Так, например, золото из эпитеpmальных систем характеризуется низким содержанием Cu, в то время как в самородном золоте, связанном с порфировыми системами, богатыми Au, отмечается низкое содержание Cu и более высокое содержание Ag по сравнению с эпитеpmальными средами (рис. 10). Самородное золото медно-порфировых систем имеет высокое содержание меди и переменное содержание Ag, Увеличение содержания Ag может быть также объяснено и за счет уравнивания с более поздними флюидами, являющимися результатом эволюции гидротермальной системы [36].

Аналогичный характер развития золоторудных месторождений характерен и в целом для Забайкальского края и объясняется сложным процессом формирования золоторудной минерализации, нестабильностью P–T–X условий во время рудоотложения, быстрой эволюцией состава рудообразующих флюидов при формировании рудных жил [42, 44]. Так, для месторождения Дарасун проведен расчет равновесной минеральной ассоциации, представленной самородным золотом, пиритом, кварцем, халькопиритом, мусковитом, хлоритом, являющейся характерной для данного типа природных объектов [20]. В результате расчетов также показано отложение двух генераций золота: раннего высокотемпературного и позднего, температура кристаллизации которого близка к 210°C, соответствующей отложению самородного золота в ассоциации с сульфосолями в природных рудах [23, 30]. Изучение флюидных включений проведено и для наиболее близкого к Ключевскому месторождению месторождения Александровское [4], которое также подтверждает образование золотонос-

ных жил при участии разных по солевому составу и P–T-параметрам флюидов. Все приведенные данные определенно указывают на различные процессы формирования самородного золота в пределах Ключевского месторождения.

ВЫВОДЫ

В результате проведенного исследования наглядно показано, что морфологические особенности самородного золота россыпей Давенда-Ключевского рудно-россыпного узла, его пробность, гранулометрические характеристики, а также установленные для него минеральные ассоциации сходны с таковыми самородного золота коренных источников региона, которые представлены магматогенными месторождениями [14, 32, 53]. Особенности химического состава и взаимоотношения самородного золота с сульфидными минералами подтверждают предположение о двух разновидностях золоторудной минерализации, что также согласуется с выделенными ассоциациями раннего самородного золота с турмалином и более позднего с пиритом, блеклой рудой, галенитом, сфалеритом, арсенопиритом. Результаты наших исследований коренного и россыпного золота могут быть использованы для корректировки представлений о генезисе золото-кварц-сульфидной минерализации Восточного Забайкалья [7], а также для выявления перспективных участков локализации коренных руд.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование проведено в рамках выполнения государственного задания по Проекту IX.130.3.1 (№ 0284-2026-0009). Работы выполнены с использованием научного оборудования Центра коллективного пользования «Изотопно-геохимических исследований» ИГХ СО РАН (г. Иркутск).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов Б.Н. Ключевское золоторудное месторождение: условия формирования, петрогеохимические особенности пород и руд (Восточное Забайкалье) // Докл. АН. 2015. Т. 464, № 1. С. 85–90. DOI: 10.7868/S0869565215250179
2. Абрамов Б.Н., Калинин Ю.А., Боровиков А.А., Бадмацзренова Р.А., Посохов В.Ф. Александровское золоторудное месторождение (восточное Забайкалье): источники вещества пород и руд // Изв. Томского политехнического ун-та. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т. 331, № 4. С. 83–95. DOI 10.18799/24131830/2020/4/2596
3. Александров Г.В., Рублев А.Г. Новые данные о возрасте и металлоносности амананского, амуджиканского, нерчуганского комплексов Северо-Восточного Забайкалья // Эндогенные процессы и металлогения в зоне БАМ. Новосибирск: Наука, 1983, С. 141–147.
4. Боровиков А.А., Калинин Ю.А., Абрамов Б.Н., Сухорук В.П. Рудообразующие флюиды месторождений Алек-

- сандровское и Давенда (Восточное Забайкалье) // Геология руд. месторождений. 2020. Т. 62, № 4. С. 321–348.
5. Быбин Ф.Ф., Багова В.З. Могочинско-Карийский золоторудный район (Восточное Забайкалье) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2014. № 1. С. 78–84.
 6. Государственная геологическая карта СССР. 1:200 000. Лист N-50-XXIII: Объясн. зап. М.: Недра, 1971. 118 с.
 7. Ефремов С.В., Горячев Н.А., Будяк А.Е. Эволюция Карийской рудно-магматической системы (Восточное Забайкалье, Россия): опыт применения мелкомасштабной геохимической съемки // Геология руд. месторождений. 2021. Т. 63, № 3. С. 283–294
 8. Жмодик С.М., Росляков Н.А., Спиридонов А.М., Козаченко И.В. Золотопорфировое оруденение Карийского рудного узла как новый тип оруденения в восточном Забайкалье // Докл. АН. 2009. Т. 426, № 6. С. 791–796.
 9. Козлов В.Д. Геохимия и рудоносность гранитоидов редкоземельных провинций. М.: Наука, 1985. 304 с.
 10. Колпаков В.В., Неволько П.А., Фоминых П.А. Типохимизм и минеральные ассоциации самородного золота автохтонных россыпей районов Быстринского Au-Cu-Fe скарновопорфирового и Лугининского Au-полиметаллического месторождений (Восточное Забайкалье) // Разведка и охрана недр. 2022. № 6. С. 9–21.
 11. Колпаков В.В., Неволько П.А., Фоминых П.А. Типохимизм и минеральные ассоциации самородного золота россыпей района Култуминского Au-Cu-Fe скарнового месторождения (Восточное Забайкалье) // Разведка и охрана недр. 2023. № 12. С. 20–31
 12. Колпаков В.В., Неволько П.А., Фоминых П.А., Похмелкин Н.С. Минералого-геохимическая характеристика и вероятные коренные источники самородного золота россыпей района Шахтаминского Мо-порфирового месторождения (Восточное Забайкалье) // Геосферные исследования. 2024. № 2. С. 61–76.
 13. Колпаков В.В., Неволько П.А., Фоминых П.А. Минералогия и коренные источники золота Давенда-Ключевского рудно-россыпного узла (Восточное Забайкалье) // Геология рудных месторождений. 2024. Т. 66. № 5. С. 483–504.
 14. Корчагина Д.А., Агибалов О.А. Опыт прогнозирования перспективных на золотое оруденение площадей на основе проведения комплексного анализа рудной и россыпной золотоносности (Забайкальский край) // Отеч. геология. 2020. № 1. С. 29–51. DOI: 10.24411/0869-7175-2020-10003
 15. Креймер С.И. Разработка ТЭО постоянных разведочных кондиций для Ключевского золоторудного месторождения. 2007.
 16. Криволицкая Н.А., Гонгальский Б.И. Ключевское месторождение // Месторождения Забайкалья / Под ред. Акад. Н.П. Лавёрова (в 2 кн.). М.: Геоинформмарк, 1995. Т. I. Кн. II. С. 33–40.
 17. Криволицкая Н.А. Парагенетические ассоциации минералов и условия образования руд Ключевского месторождения золота (Восточное Забайкалье, Россия) // Геология руд. месторождений. 1997. № 4. С. 344–361.
 18. Петровская Н.В. Самородное золото. Общая характеристика, типоморфизм, вопросы генезиса. М.Наука,1973. 347 с.
 19. Плюснин Г.С., Спиридонов А.М., Литвинцев К.А., Кочеткова Л.Ф., Гнилуша В.А., Кузнецова С.В. Rb-Sr возраст щелочных гранитов Карийского рудного узла (Восточное Забайкалье) // Докл. АН СССР. 1989. Т. 307, № 4. С. 967–971.
 20. Прокофьев В.Ю., Зорина Л.Д. Флюидный режим Дарасунской рудно-магматической системы (Восточное Забайкалье) по данным исследования флюидных включений // Геология и геофизика. 1996. Т. 37, № 5. С. 50–61.
 21. Прокофьев В. Ю., Бортников Н. С., Зорина Л. Д., Куликова З.И., Мател Н.Л., Колпакова Н.Н., Ильина Г.Ф. Генетические особенности золото-сульфидного месторождения Дарасун (Восточное Забайкалье, Россия) // Геология руд. месторождений. 2000. Т. 42, № 6. С. 526–548.
 22. Прокофьев В.Ю. Геохимические особенности рудообразующих флюидов гидротермальных месторождений золота различных генетических типов (по данным исследования флюидных включений). Новосибирск: Наука, 2000. 190 с.
 23. Сахарова М.С., Калиткина Н.А., Колонин Г.Р., Исследование температурных условий рекристаллизации золота в сульфидных рудах: III Всесоюзное совещ. по минерал. термобарометрии и геохимии глубин. минералообраз. растворов. М., 1968.
 24. Соловьев С.Г. Металлогения шошонитового магматизма (в 2-х томах). М.: Научный мир, 2014. 1000 с.
 25. Сотников В.И. Медно-молибден-порфировая рудная формация: природа, проблема объема и границ // Геология и геофизика. 2006. Т. 47, № 3. С. 355–363.
 26. Сотников В.И., Пономарчук В.А., Берзина А.П., Гимон В.О. Магматические и металлогенические предшественники рудоносного порфирового магматизма в медно-молибденовых рудных узлах // Геология и геофизика. 2006. Т. 47, № 12. С. 1277–1285.
 27. Спиридонов А.М., Зорина Л.Д., Китаев Н.А. Золотоносные рудно-магматические системы Забайкалья. Новосибирск: ГЕО, 2006. 291 с.
 28. Таусон Л.В. Геохимические типы и потенциальная рудоносность гранитоидов. М.: Наука, 1977. 280 с.
 29. Таусон Л.В. Магмы и руды. Геохимия рудообразующих систем и металлогенический анализ. Новосибирск: Наука, 1989. С. 5–7.
 30. Тимофеевский Д.А. Геология и минералогия Дарасунского золоторудного района // Труды ЦНИГРИ. М., 1972. Вып. 98.
 31. Юргенсон Г.А. Минеральное сырье Забайкалья. Ч. I. Кн. 3. Благородные металлы. Чита: Поиск, 2008. 256 с.
 32. Яблокова С.В., Самосоров Г.Г., Позднякова Н.Н. Типоморфные особенности золота как критерии связи россыпей с коренными источниками золото-серебряного типа (на примере рудно-россыпного узла Многовершинное) // Отеч. геология. 2020. № 4–5. С. 24–38. DOI: 10.47765/0869-7175-2020-10021
 33. Antweiler J.C., Campbell W. Application of gold compositional analyses to mineral exploration in the United States // J. Geochem Explor. 1977. V. 8. P. 17–29
 34. Chapman R.J., Mileham T.J., Allan M.M., Mortensen J.K. A distinctive Pd-Hg signature in detrital gold derived from alkalic Cu-Au porphyry systems // Ore Geology Review. 2017. V. 83. P. 84–102.
 35. Chapman R.J., Allan M.M., Mortensen J.K., Wrighton T.M., Grimshaw M.R. A new indicator mineral methodology based on a generic Bi- Pb-Te-S mineral inclusion signature in

- detrital gold from porphyry and low/intermediate sulfidation epithermal environments in Yukon territory, Canada // *Mineral Deposita*. 2018. V. 53. P. 815–834. Gas'kov IV (2017) Major impurity elements in native gold and their association with gold mineralization settings in deposits of Asian folded areas. *Russ GeolGeophys* 58:1080–1092).
36. Chapman R.J., Banks D.A., Styles T.M., Walshaw R.D., Piazolo S., Morgan D.J., Grimshaw M.R., Spence-Jones C.P., Matthews T.J., Borovinskaya O. Chemical and physical heterogeneity within native gold: implications for the design of gold particle studies // *Mineralium Deposita*. 2021. V. 56. P. 1563–1588. <https://doi.org/10.1007/s00126-020-01036-x>
 37. Chernyshev I.V., Prokof'ev V.Y., Bortnikov N.S., Chugaev A.V., Goltsman Y.V., Lebedev V.A., Larionova Y.O., Zorina L.D. Age of granodiorite porphyry and beresite from the Darasun gold field, Eastern Transbaikalian region, Russia // *Geology of Ore Deposits*. (56). 2014. N 1. P. 1–14. DOI: 10.7868/S0016777014010031
 38. Efremov S.V., Spiridonov A.M., Travin A.V. New data on granitoids of the Kara gold ore cluster (Eastern Transbaikalia): age, genesis, and sources of material // *Russian Geology and Geophysics*. (60). 2019. DOI: 10.15372/GiG2019058
 39. Efremov S.V., Goryachev N.A., Budyak A.E., Skuzovatov S.Y., Blinov A.V., 2024. Use of Digital Models of Geological Structure to Identify Paleovolcanic Structures Controlling Porphyry Ore Objects // *Geodynamics & Tectonophysics* 15 (2), 0750. doi:10.5800/GT2024-15-2-0750
 40. Gammons C.H., Williams-Jones A.E. Hydrothermal geochemistry of electrum; thermodynamic constraints. 1995. *Econ Geol* 90: 420–432. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.90.2.420>
 41. Goryachev N.A., Pirajno F. Gold deposits and gold metallogeny of Far East Russia. *Ore Geol. Rev.* (59). 2014. P.123–151
 42. Goryachev N.A., Yurgenson G.A., Nikanyuk T.N. Ore mineralization of the Aliin ore field (Transbaikalian sector of the Mongolo-Okhotsk orogenic belt): structural relationships, mineralogy, geochemistry and zoning. *Russian geology and geophysics*. (7) 2025. DOI: 10.15372/gig2025109
 43. Groen J.C., Craig J.R., Rimstidt J.D. Gold-rich rim formation on electrum grains in placers. 1990. *Can Mineral* 28:207–228
 44. Gvozdev V.I., Grebennikova A.A., Vakh A.S., Fedoseev D.G., Goryachev N.A. Mineral evolution during formation of gold-rare-metal ores in the Sredne-Golgotay deposit (Eastern Transbaikalia) // *Russian Journal of Pacific Geology*. (14) 2020. N 1. P. 66–86. DOI: 10.30911/0207-4028-2020-39-1-70-91.
 45. Héral G., Fornari M., Viscarra G., Miranda V. Morphological and chemical evolution of gold grains during the formation of a polygenic fluvial placer: the Mio-Pleistocene Tipuani placer example (Bolivia). 1990. *Chronique de la Recherche Minière*. 500. 41–49.
 46. Krinov D.I. Geochemical zoning of pyrite and arsenopyrite individuals from the Klyuchevskoe gold deposit, Eastern Transbaikalia // *Geochemistry International*. (46). 2008. N 10. P. 1005–1015.
 47. Morrison G.W., Rose W.J., Jaireth S. Geological and geochemical controls on the silver content (finesness) of gold in gold-silver deposits. 1991. *Ore Geol Rev* 6:333–364. [https://doi.org/10.1016/0169-1368\(91\)90009-V](https://doi.org/10.1016/0169-1368(91)90009-V)
 48. Naumov V.B., Dorofeeva V.A., Girmis A.V., Yarmolyuk V.V. Mean concentrations of volatile components, major and trace elements in magmatic melts in major geodynamic environments on Earth. I. Mafic melts. *Geochemistry international*. (55). 2017. Doi: 10.7868/s0016752517070081
 49. Naumov V.B., Dorofeeva V.A., Girmis A.V., Yarmolyuk V.V. Mean concentrations of volatile components and of major and trace elements in magmatic melts of the dominant geodynamic settings of the Earth. II. Silicic melts. *Geochemistry International*. (57). 2019. DOI: 10.31857/S0016-7525644395-408
 50. Nevolko P.A., Kolpakov V.V., Nesterenko G.V., Fominykh P.A. Alluvial-placer gold of northwestern Salair: composition, types, and mineral microinclusions // *Russian Geology and Geophysics*. 2019. V. 60, N 1. P. 67–85.
 51. Rubin J.N., Kyle J.R.. Precious metal mineralogy in porphyry, skarn and replacement type ore deposits of the Ertsberg (Gunung Bijih) district, Irian Java, Indonesia. 1997. *Economic Geology*, 92, 535–550.
 52. Spiridonov A.M., Kozlov V.D., Zorina L.D., Men'shikov V.I., Bychinskii V.A. Distribution of gold in igneous granitoid complexes in the central and southwestern areas of Eastern Transbaikalia. *Russian Geology and Geophysics*. (51). 2010. N 8. P. 846–856.
 53. Townley B.K., Herail G., MaksaeV V., Palacios C. et al. Gold grain morphology and composition as an exploration tool: application to gold exploration in covered areas // *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*. (3). 2003. N 1. P. 29–38.
 54. Yakubchuk A., Lobanov K., Shmatov S. The Davenda-Klyuchevskoe Au-Mo-(Cu) cluster in the Mogochoa gold district (Russia): an intrusion-related or porphyry system overprinted by epithermal gold // *Mineralium Deposita*. 2024. <https://doi.org/10.1007/s00126-024-01302-2>

*Рекомендована к печати В.В. Раткиным
после доработки 12.11.2025 г.
принята к печати 16.01.2026 г.*

**TYPOMORPHISM OF NATIVE GOLD OF THE KLYUCHEVSKY ORE-PLACER DISTRICT
(EASTERN TRANSBAIKALIA)**

**Yu.I. Tarasova^a, Yu.D. Shcherbakov^a, S.V. Efremov^a, A.E. Budyak^a, N.A. Goryachev^{a,b},
V.A. Vanin^c, A.V. Chugaev^d**

^a*Vinogradov Institute of Geochemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia;
e-mail: j.tarasova84@yandex.ru*

^b*Shilo Northeastern Integrated Scientific Research Institut, Far East Branch, Russian Academy of Sciences,
Magadan, Russia*

^c*Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia*

^d*Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry, Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia*

This article presents the results of studies of morphology, granulometric and chemical compositions, characteristic parageneses of minerals of the native gold from the Klyuchevskoe deposit, as well as their comparison with the gold from placer sources in the Davenda-Klyuchevskoy district. The conducted research clearly demonstrates that the native gold from the Davenda-Klyuchevskoy ore-placer cluster corresponds to the gold from a bedrock source in terms of fineness, granulometric parameters and mineral associations.

Based on the relationship of minerals, two varieties of native gold have been identified, which differ in their fineness. The crystallization of native gold with a lower purity level is associated with the earliest formation processes at the Klyuchevskoe deposit; the deposition of gold with a relatively high purity level is associated with the influence of later hydrothermal fluids, which is supported by the synchronous formation of polymetallic association minerals. The bimodal nature of the gold distribution is typical for all gold-sulfide-quartz objects in the region.

The results presented in this work suggest the influence of intrusions of the Amanan and Amudjikan-Sretensk complexes on the formation of the multi-stage mineralization at the Klyuchevskoe deposit. Inherent characteristics of the chemical composition of native gold and its association with certain sulfides support the hypothesis of two stages in the formation of gold mineralization. This is also consistent with the fact of the close association of native gold with tourmaline and the later formation of large metasomatic pyrite crystals, similar in time to the aggregates of late mineral associations including fahl ore, galena, sphalerite, and arsenopyrite.

Comparative analysis of gold from hardrock gold deposits and placers makes it possible not only to identify sources of the latter, but also provides an opportunity to obtain additional data to improve understanding of the genesis of gold-quartz-sulfide objects in Eastern Transbaikalia.

Key words: native gold, placers, tourmaline, Klyuchevskoe deposit, Eastern Transbaikalia.