ISSN 2411-3336; e-ISSN 2541-9404

ЗАПИСКИ ГОРНОГО ИНСТИТУТА
Journal of Mining Institute
Сайт журнала: pmi.spmi.ru

Научная статья Геология

Особенности морфологии, внутреннего строения и состава самородного золота Мурзинской группы россыпей (Средний Урал): определения коренных источников и условий формирования россыпей золота

А.К.Козин[1]✉, **С.Ю.Степанов**[1], **Р.С.Паламарчук**[1], **В.С.Жданова**[1], **Н.С.Власенко**[2]
[1] *Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, Миасс, Россия*
[2] *Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*

Как цитировать эту статью: Козин А.К., Степанов С.Ю., Паламарчук Р.С., Жданова В.С., Власенко Н.С. Особенности морфологии, внутреннего строения и состава самородного золота Мурзинской группы россыпей (Средний Урал): определения коренных источников и условий формирования россыпей золота // Записки Горного института. 2026. Т. 280. С. 104-121. EDN NIPPTK

Аннотация
Представлены результаты комплексного исследования самородного золота из девяти россыпей Мурзинской группы на Среднем Урале. Детально охарактеризованы морфологические признаки, химический состав и внутреннее строение самородного золота, а также минеральных включений в нем. На основе анализа морфологических особенностей и степени окатанности золотин установлено близкое расположение коренных источников золота (от сотен метров до первых километров). По результатам исследования химического состава и минеральных включений выделены три типа самородного золота. Тип I (преобладающий) характеризуется высокой пробой с примесями Ag и Hg, включениями пирита, халькопирита, галенита, молибденита и петцита. Количество примесей в самородном золоте этого типа позволяет выделить подтипы, распространие которых в россыпях отражает зональность коренной минерализации золотокварцевого типа. Тип II отличается повышенными содержаниями меди, включениями борнита; тип III – высокими содержаниями Ag. Определены коренные источники разных типов золота: для типа I – золотокварцевая формация, для типа II – благороднометалльная минерализация в габброидах Павдинского массива. Применение метода дифракции обратнорассеянных электронов (EBSD) позволило детально охарактеризовать внутреннее строение золотин. Обнаруженные высокопробные межзерновые прожилки и срастания золота с минералами группы рабдофана позволили прийти к заключению о нахождении самородного золота в зоне гипергенеза в период активного развития кор выветривания в верхнем мезозое и палеогене. Установлено, что формирование россыпной системы в бассейне р. Мурзинка происходило в неоген-четвертичное время преимущественно за счет коренной минерализации золотокварцевого типа. Полученные данные позволяют локализовать перспективные участки для поиска коренных золоторудных объектов и расширяют представления о металлогеническом потенциале региона.

Ключевые слова
самородное золото; медистое золото; россыпное золото; россыпи; коры выветривания; рабдофан; внутренние структуры; EBSD; Средний Урал

Финансирование
Исследования выполнены в рамках научной темы ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН № FUUR-2025-0007.

Поступила: 11.09.2025 ***Принята: 28.04.2026*** ***Онлайн: 27.07.2026*** ***Опубликована: 10.09.2026***

Введение

История отработки золотых россыпей на Урале насчитывает два столетия. Запасы россыпного золота за этот период были в значительной степени истощены, в связи с чем возрастает актуальность поисков новых золоторудных объектов. Задача расширения и возобновления минерально-сырьевой базы – ключевое направление государственной политики [1]. Одним из путей решения данной задачи применительно к благородным металлам является детальное изучение россыпей золота, источники которых еще не выявлены.

Россыпное золото – традиционный объект минералогических исследований с целью определения генетических типов и локализации объектов коренной благороднометалльной минерализации. Особенное значение приобретает прогнозно-поисковая информативность золотин из рыхлых

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

отложений на территориях со слабой обнаженностью. Изучение морфологических признаков и химического состава самородного золота, а также ассоциаций минеральных включений позволило достоверно определить связь россыпей с конкретными геологическими комплексами для многих россыпных районов по всему миру [2-5]. Многочисленны примеры использования типоморфизма россыпного золота для прогнозирования рудной минерализации [6, 7].

Золотоносность р. Мурзинка и ее притоков была установлена во второй четверти XIX в. С 1850-х годов началась локальная старательская отработка, спорадически продолжавшаяся до середины XX в., когда масштабы добычи были значительно увеличены за счет применения дражных технологий. По архивным сведениям, за весь период промышленного освоения из аллювиальных и аллювиально-делювиальных отложений в долинах р. Мурзинка и ее притоков было извлечено порядка 1,5 т шлихового золота. При значительных масштабах россыпной золотоносности, проявленной в той или иной степени во всех водотоках бассейна р. Мурзинка, практически отсутствует информация о коренных источниках золота. Сведения о золоторудной минерализации ограничиваются краткими описаниями единичных рудопроявлений, на территории не известно ни одного коренного месторождения золота.

Целью настоящей работы является установление формационных типов коренных источников и условий образования россыпей Мурзинской группы на основе характерных морфологических признаков, внутреннего строения и химического состава самородного золота из аллювиальных и аллювиально-делювиальных отложений. Актуальность исследования определяется возможностью использования полученных данных для оценки рудного потенциала территории. В последние годы наблюдается увеличение числа поисковых работ в пределах структурно-вещественных комплексов Тагильской мегазоны Среднего и Северного Урала, связанное с истощением запасов известных месторождений и открытием новых золоторудных объектов, таких как месторождение Пещерное [8]. Традиционно для изучения внутреннего строения самородного золота применяется методика кислотного травления [9]. Применение в данном исследовании метода дифракции обратно-рассеянных электронов (EBSD) позволило исследовать внутренние структуры самородного золота россыпей Мурзинской группы на принципиально новом уровне.

Методы

Для изучения разреза россыпей в долинах рек Мурзинка, Талая, Матюшенка, Малая Нясьма, Максимовка, Каменка, Большая Величка, Холодная и Ожеговка были пройдены шурфы глубиной 2,5-3,5 м. В стенках шурфов, вскрывающих аллювиальные отложения, бороздовым способом отобраны шлиховые пробы. Средний объем рядовой пробы составил 40 л, крупнообъемной – 1000 л. Всего было отобрано 79 проб в 11 шурфах. Промывка шлиховых проб проводилась на старательском лотке до «черного шлиха», для промывки крупнообъемных проб применялись шлихообогатительные установки.

Морфологические особенности и размер россыпного золота изучены с использованием оптического бинокулярного микроскопа и сканирующего электронного микроскопа (СЭМ). С применением СЭМ изучено 208 частиц самородного золота. Для исследования ассоциаций минеральных включений на СЭМ TESCAN VEGA 3 (Центр коллективного пользования ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН, Миасс, аналитик М.А.Рассомахин) золотины были вмонтированы в шайбы из эпоксидной смолы и отполированы. Данные о химическом составе самородного золота получены с помощью электронно-зондовых микроанализаторов с волновыми спектрометрами Cameca SX100 (Центр коллективного пользования «Геоаналитик» Института геологии и геохимии им. академика А.Н.Заварицкого УрО РАН, Екатеринбург, аналитик В.А.Булатов) и JEOL JXA-733 (Центр коллективного пользования ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН, аналитик В.А.Котляров). Всего получено 130 анализов центральных частей золотин. Анализ проводился при ускоряющем напряжении 15-20 кВ и токе электронного зонда 40 нА. Время накопления импульсов в максимуме пика составило 10 с. При проведении измерений в качестве стандартов использовались $CuFeS_2$ (для анализа содержания Fe, Cu), HgTe (Hg, Te), HgCl (Hg), Au, Ag, Pd. Анализ производился по линиям: Kα (Cu, Fe), Lα (Au, Ag, Te, Hg) и Mα (Hg, Au). Пределы обнаружения элементов, определяемых в самородном золоте, составили, мас.%: Au – 0,068; Ag – 0,064; Hg – 0,080; Cu – 0,075.

Отполированные плоские срезы золотин были подвергнуты травлению пучком аргоновой плазмы на установке Oxford IonFab 300 (Ресурсный центр «Нанофотоника» СПбГУ, Санкт-Петербург,

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

М.С.Ложкин). Условия травления: экспозиция 10 мин, ускоряющее напряжение 500 В, ток 200 мА, угол 45°. С целью выявления особенностей внутреннего строения проведены исследования распределения ориентировок кристаллической решетки самородного золота методом дифракции обратнорассеянных электронов на сканирующем электронном микроскопе TESCAN MIRA с EBSD-детектором Oxford Nordlys Nano (Центр коллективного пользования «Геоаналитик» Института геологии и геохимии им. академика А.Н.Заварицкого УрО РАН, аналитик Н.С.Чебыкин) и Hitachi S-3400N с энергодисперсионным спектрометром Oxford Instruments X-Max 20 (Ресурсный центр «Геомодель» СПбГУ, Санкт-Петербург, аналитик Н.С.Власенко). Условия сбора данных – ускоряющее напряжение 30 кВ, ток пучка 3 нА. С применением метода EBSD было получено девять карт распределения ориентировок кристаллической решетки в золотинах.

Геологическое строение территории и россыпей

Геологическое строение территории. Мурзинская группа россыпей располагается на восточном склоне Урала в пределах Тагильской мегазоны (рис.1, *а*) [10]. В строении территории принимают участие различные комплексы интрузивных и свиты вулканических пород (рис.1, *в*), сформированные в ходе развития Тагильской вулканической дуги. Наиболее древним в пределах территории является мариинский метаморфический комплекс позднеордовикского возраста, среди пород которого преобладают амфиболиты и амфиболизированные долериты. Породы комплекса вмещают позднеордовикские габброиды Павдинского полиформационного массива, входящего в состав Платиноносного пояса Урала (ППУ) [11]. К востоку от интрузива значительную площадь занимают вулканогенные образования кабанской свиты позднеордовикского-раннесилурийского возраста. Породы этой свиты – вулканиты контрастной ассоциации основного и кислого составов со значительным преобладанием базальтов и андезибазальтов над риодацитами. Кабанская свита вмещает многочисленные рудопроявления медь-цинковой колчеданной формации [12], что является характерной чертой вулканитов контрастной ассоциации Тагильской мегазоны. Восточнее кабанская свита сменяется более поздними породами павдинского вулканогенного базальт-андезибазальт-риолитового комплекса. В северной части территории распространения россыпей Мурзинской группы располагается Каменский массив диоритов и габбродиоритов петропавловского комплекса, комагматичного вулканитам павдинской свиты. Породы Каменского интрузива прорваны небольшими штоками гранитов позднесилурийского северорудничного комплекса.

В металлогеническом отношении Мурзинская группа россыпей располагается в районе кайнозойских россыпей золота осевой части Среднего Урала в пределах прогнозируемой Исовской золоторудной зоны [11]. На территории развития россыпей известны два коренных рудопроявления золота, относимые к золотокварцевому типу, однако подробная информация о них отсутствует.

Геоморфология и строение россыпей. Масштабные геоморфологические и палеоклиматические исследования, проводившиеся коллективом авторов под руководством А.П.Сигова в 1960-1980 гг. [13], позволили выделить в истории платформенного развития восточного склона Среднего Урала шесть ключевых тектоно-климатических этапов: эомезозойский (I), нижнемезозойский (II), верхнемезозойский (III), верхнепалеогеновый (IV), миоценовый (V), плиоцен-четвертичный (VI). В пределах Мурзинской группы россыпей широко развиты отложения и поверхности выравнивания III, V и VI этапов. Верхнемезозойский-палеогеновый этап характеризовался стабильным тектоническим режимом и преобладанием гумидного климата, в результате чего активно формировались площадные коры выветривания. В дальнейшем элювиальные образования мезозойского пенеплена подвергались частичному смыву верхних горизонтов. В современном строении территории мезозойские коры выветривания являются плотиком для россыпей, сформированных в более позднее время. В течение миоценового этапа в условиях затухания тектонических процессов и семиаридного климата эрозия и денудация были замедлены. Ввиду отсутствия постоянных водотоков происходило развитие сети логов с осадками делювиально-пролювиального генезиса. Рыхлые отложения этого этапа проявлены локально в верховьях рек Талая и Малая Нясьма. В плиоцен-четвертичное время на фоне тектонической активизации, сопровождавшейся прерывистыми воздыманиями территории, и перехода к умеренно холодному и более влажному климату усилились денудационные процессы. Совокупность этих факторов привела к расчленению рельефа и формированию современной гидросети. Эти процессы сопровождались аккумуляцией основной части золотоносных аллювиально-делювиальных и аллювиальных отложений [13].

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

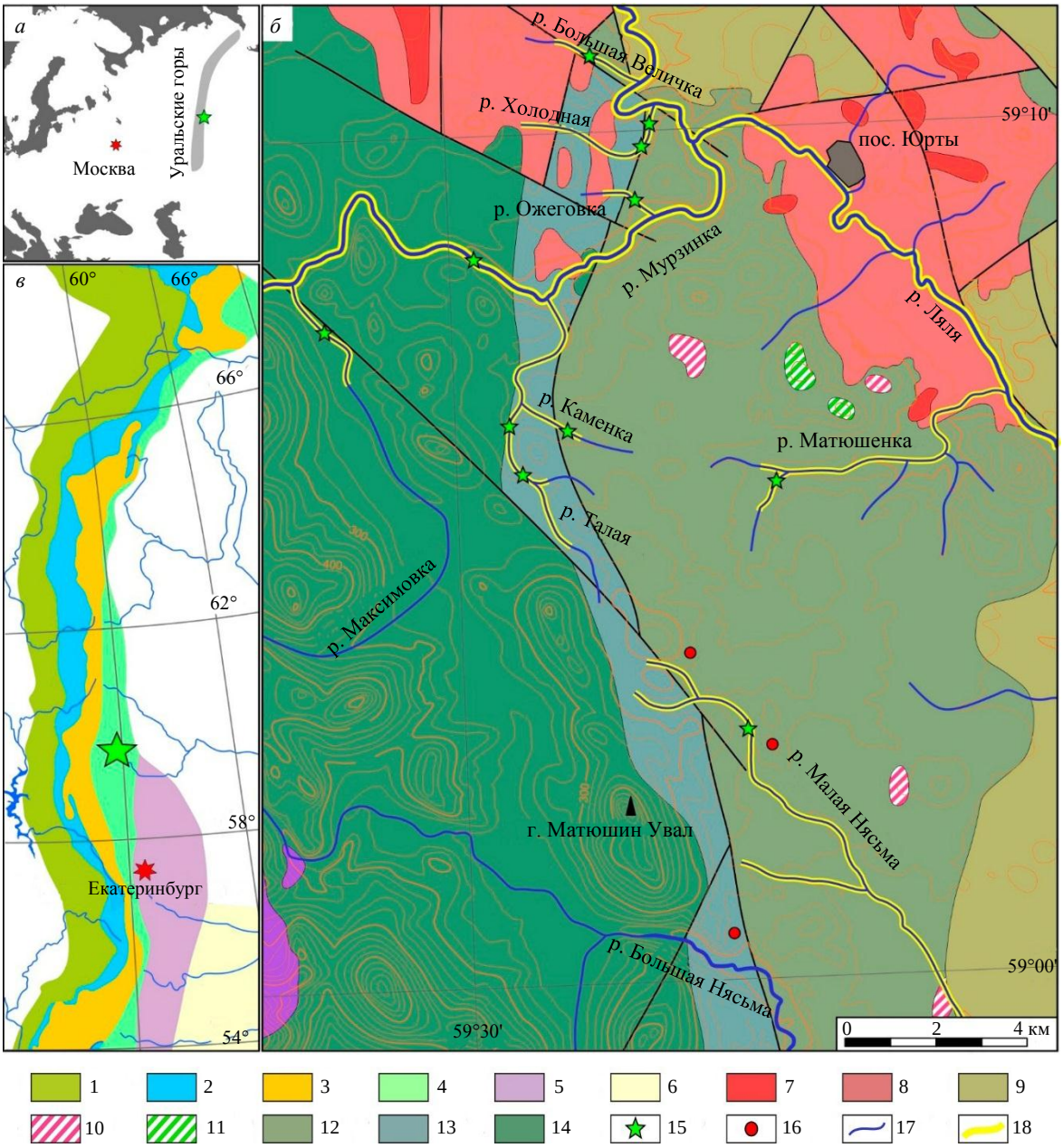


Рис.1. Расположение (*а*), геологическое строение (*б*) и тектоническая позиция (*в*) района Мурзинской группы россыпей (составлено с использованием материалов [10, 11])

1 – Предуральский краевой прогиб; 2-6 – зоны: 2 – Западно-Уральская, 3 – Центрально-Уральская, 4 – Тагило-Магнитогорская, 5 – Восточно-Уральская, 6 – Зауральская; 7 – позднесилурийские граниты; 8 – раннесилурийские диориты и габбродиориты Каменского массива; 9 – раннесилурийские вулканиты от базальтов до риолитов павдинской свиты; 10 – кабанские субвулканические образования, субвулканические штоки габбродолеритов; 11 – кабанские субвулканические образования, субвулканические штоки риодацитов; 12 – позднеордовикские-раннесилурийские вулканиты от базальтов до риолитов кабанской свиты; 13 – позднеордовикские амфиболиты и амфиболизированные долериты мариинского метаморфического комплекса; 14 – позднеордовикские габброиды Павдинского массива; 15 – точки отбора шлиховых проб; 16 – рудопроявления золота; 17 – водотоки; 18 – россыпи золота

Все изученные россыпи характеризуются схожим строением и литологическим составом отложений (рис.2). Они относятся к аллювиальному и аллювиально-делювиальному (ложковому) типам. В основании разреза речных долин залегают мезозойские коры выветривания по вулканитам, выступающие в роли плотика для россыпей и представленные дресвяно-щебнистыми, дресвяно-глинистыми и глинистыми разностями. Их перекрывают верхнеплейстоценовые аллювиально-делювиальные отложения кустанайской свиты, представленные преимущественно суглинками со слабоокатанной галькой вулканических горных пород. Они с размывом перекрываются склоновыми и ложковыми осадками среднего плейстоцена глинистого и песчано-глинистого составов. Верхняя часть разреза сложена глинистым делювием верхнего плейстоцена и современным русловым аллювием,

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

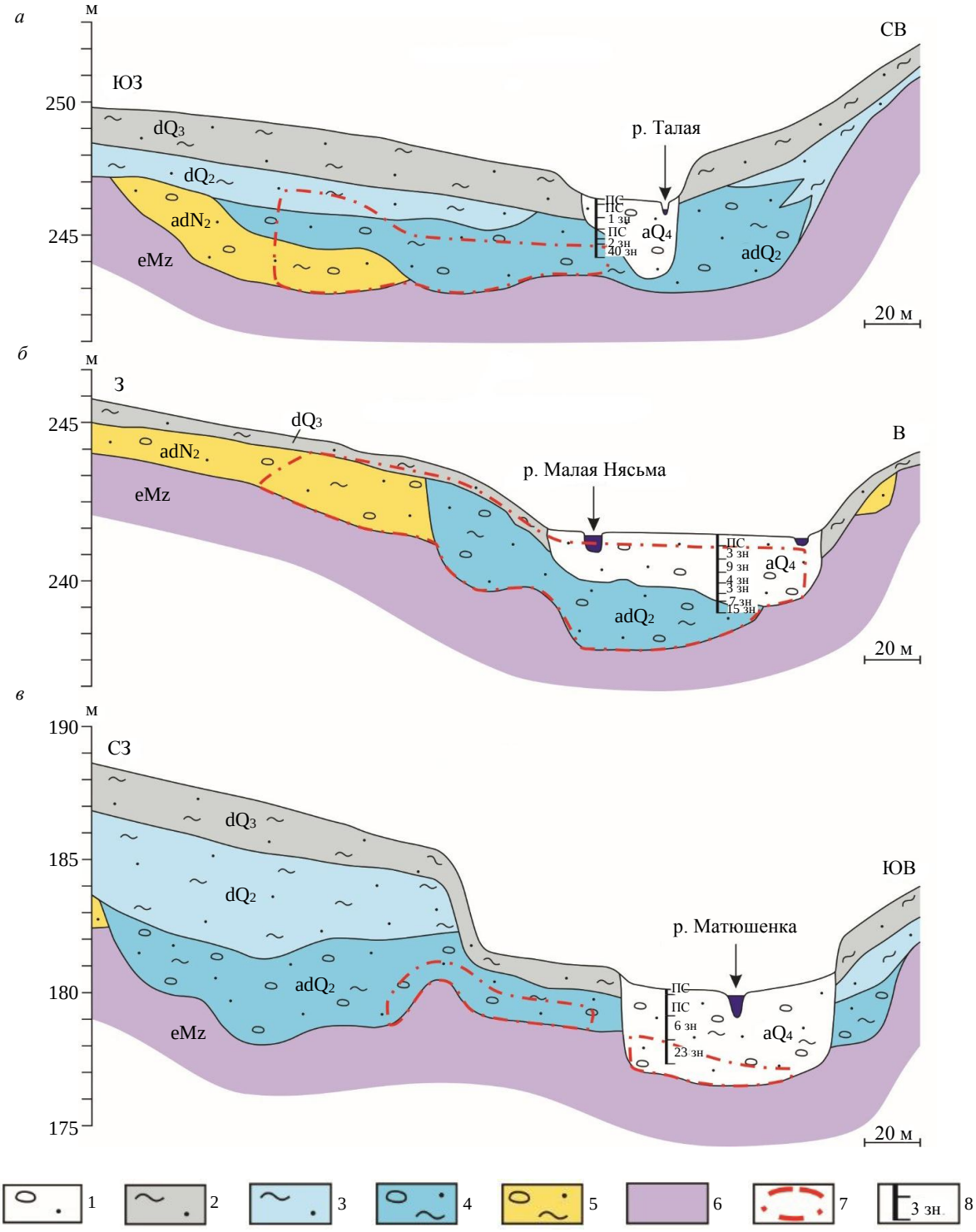


Рис.2. Характерные разрезы аллювиальных и аллювиально-делювиальных россыпей Мурзинской группы рек Талая (*а*), Малая Нясьма (*б*) и Матюшенка (*в*)

1 – русловый аллювий голоцена (aQ_4); 2 – делювиальные отложения верхнего плейстоцена (dQ_3); 3 – делювиальные отложения среднего плейстоцена (dQ_2); 4 – аллювиально-делювиальные отложения среднего плейстоцена (adQ_2); 5 – аллювиально-делювиальные отложения верхнего плиоцена (adN_2); 6 – мезозойские коры выветривания по вулканическим породам (eMz); 7 – контуры содержаний россыпного золота более 0,1 г/м^3; 8 – интервалы опробования шурфов и количество знаков в пробах, ПС – россыпного золота не выявлено. Разрезы составлены на основании личных наблюдений авторов с привлечением фондовых отчетов (А.П.Низовой, 1970; Н.Д.Щур, 2007)

представленным супесями с большим количеством гравийно-галечного материала. Золотоносность установлена во всех отложениях аллювиального и аллювиально-делювиального генезиса от верхнего плиоцена до голоцена. Распределение самородного золота в породах весьма неравномерное, но максимальные концентрации, соответствующие современным промышленным кондициям, тяготеют к приплотиковой части разреза.

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Результаты исследования

Размер и морфологические характеристики шлихового золота. Распределение самородного золота по классам крупности в различных россыпях Мурзинской группы отличается незначительно (табл.1). Наиболее распространены достаточно крупные индивиды размера 0,25-0,5 и 0,5-1,0 мм, присутствующие в шлиховых пробах примерно в равных количествах и составляющие суммарно около 70 % золотин. Третьей по частоте встречаемости является фракция 0,1-0,25 мм, составляющая 20-30 % зерен. Значительно меньше распространены крупные индивиды класса 1,0-2,0 мм, как правило составляющие первые проценты от общего числа зерен. Исключением являются россыпи р. Талая и ее притока р. Каменка, где содержание этой фракции достигает 10 %. В пробах, отобранных в аллювиальных отложениях р. Талая, обнаружены наиболее крупные золотины размером до 7 мм.

Таблица 1

Самородное золото россыпей Мурзинской группы

Россыпь рек	Количество золотин *n*	Гранулометрический состав, %						Коэффициент уплощения
		Золотины, мм						
		< 0,1	0,1-0,25	0,25-0,5	0,5-1,0	1,0-2,0	> 2	
Талая	107	–	22,43	33,64	31,78	10,28	1,87	2,48
Каменка	76	–	21,05	31,58	39,47	7,89	–	2,98
Матюшенка	29	–	27,59	31,03	41,38	–	–	2,34
Малая Нясьма	41	2,44	24,39	41,46	29,27	2,44	–	2,53

Морфологические характеристики самородного золота весьма разнообразны. Индивиды зачастую имеют слабоуплощенную форму, при этом отмечены близкие значения коэффициента уплощения в пределах двух-трех единиц для всех россыпей (табл.1). Уплощение золотин не связано с процессами деформации и является первичной морфологической особенностью, поскольку отмечается как у окатанных, так и у неокатанных зерен. В меньшей степени распространены зерна удлиненного и комковатого облика.

Большая часть золотин характеризуется средней степенью окатанности (рис.3). На их бугристых поверхностях хорошо заметны многочисленные следы перековки, каверны и царапины, выступающие части обмяты и сглажены. От первичных форм сохраняются общие очертания зерен и отдельные участки поверхности. Значительно реже встречаются индивиды и агрегаты самородного золота рудного облика сложной морфологии со ступенчатыми поверхностями совместного роста с жильными минералами. Эта разновидность была обнаружена в количестве нескольких зерен в россыпи р. Талая.

Внутреннее строение шлихового золота. Исследование внутренних структур методом дифракции обратнорассеянных электронов показывает, что большинство золотин являются зернистыми агрегатами. Они состоят из разноориентированных полигональных индивидов с прямолинейными или слабоизогнутыми границами. Отмечена зависимость крупности индивидов от размера слагаемых ими агрегатов. В строении золотин размером 100-300 мкм принимают участие индивиды величиной 30-100 мкм; в более крупных частицах самородного золота (2-5 мм) размер индивидов увеличивается до 500-1000 мкм. Монокристаллы встречаются крайне редко, а их размер не превышает 250 мкм. Многочисленные механические деформации проявляются во внутреннем строении самородного золота участками разориентировки кристаллической решетки.

Изображения, полученные на сканирующем электронном микроскопе в режиме BSE, демонстрируют химически однородное внутреннее строение шлихового золота с развитием по периферии высокопробных кайм. Мощность кайм составляет первые десятки микрометров, их граница с ядерными частями золотин четкая и извилистая. Другой особенностью внутреннего строения являются высокопробные прожилки, развивающиеся по границам индивидов, слагающих агрегаты самородного золота. Мощность межзерновых прожилков составляет 5-10 мкм.

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

© А.К.Козин, С.Ю.Степанов, Р.С.Паламарчук, В.С.Жданова, Н.С.Власенко, 2026

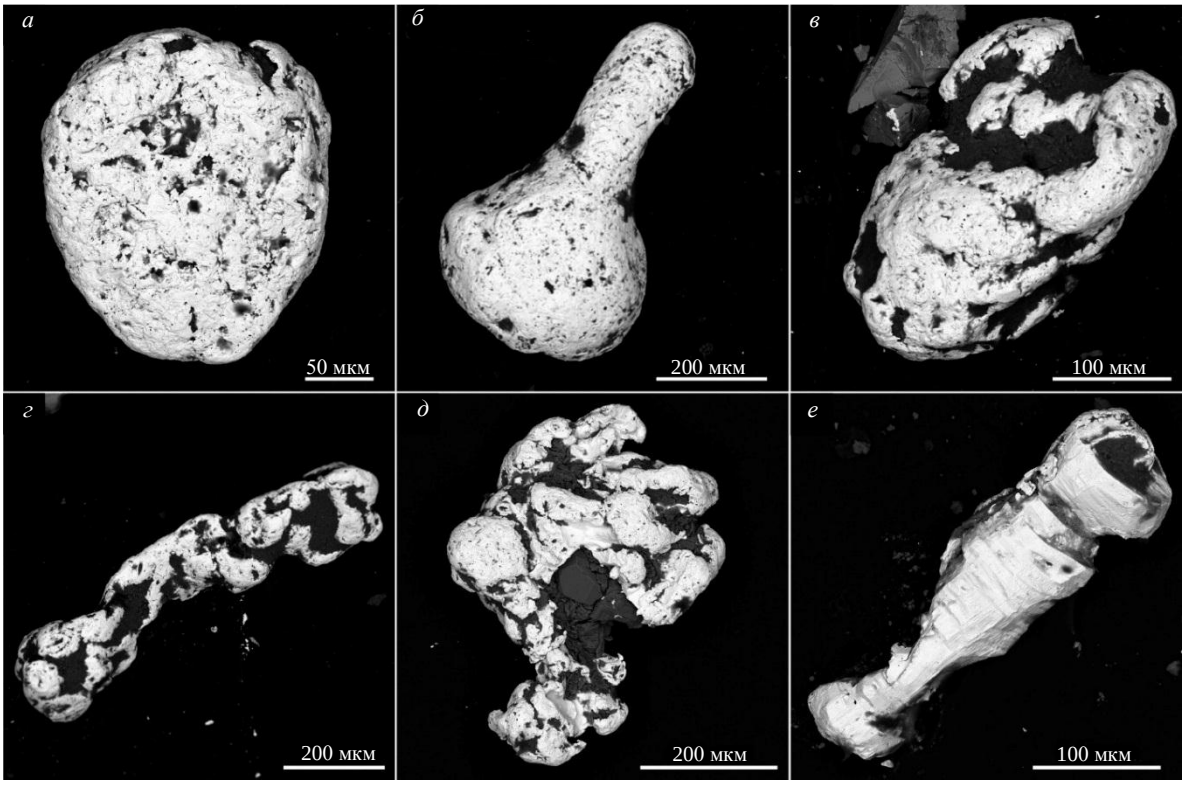


Рис.3. Форма самородного золота из россыпей Мурзинской группы рек Малая Нясьма (*а*), Ожеговка (*б*), Матюшенка (*в*), Большая Величка (*г*), Холодная (*д*), Талая (*е*). Фото в режиме BSE

Химический состав шлихового золота. Особенности химического состава позволяют выделить три типа самородного золота в россыпях Мурзинской группы (табл.2, 3). Тип I является наиболее распространенным и характеризуется присутствием в составе самородного золота примесей Ag и Hg. Вариации содержания примесей позволяют разделить описанный тип на четыре подтипа: а – россыпь р. Максимовка; б – россыпи рек Большая Величка, Малая Нясьма и Мурзинка; в – россыпи рек Талая и Холодная; г – россыпи рек Матюшенка, Каменка и Ожеговка. В россыпях, сгруппированных в соответствии с подтипами золота, отмечаются весьма близкие значения пробы и содержаний примесей серебра и ртути.

Таблица 2

Средний химический состав самородного золота россыпей I типа, мас.%

Россыпь рек	Количество золотин *n*	Подтип	Hg			Ag			Au		
			Median	Min	Max	Median	Min	Max	Median	Min	Max
Максимовка	17	а	0,99	–	3,01	16,76	3,39	26,15	82,68	73,74	97,36
Большая Величка	15	б	1,23	–	3,24	13,50	4,02	23,42	86,20	74,98	96,66
Малая Нясьма	17		0,38	–	4,40	13,01	1,42	23,85	86,63	76,68	99,97
Мурзинка	13		1,24	–	4,28	13,40	1,02	19,90	84,68	79,81	97,31
Талая	18	в	0,43	–	4,96	10,03	0,57	23,11	90,26	74,60	99,99
Холодная	14		–	–	0,83	7,00	0,74	23,43	92,83	75,73	100,00
Матюшенка	11	г	–	–	0,50	7,32	–	11,00	93,54	89,68	98,88
Каменка	13		–	–	1,68	8,68	–	14,82	91,28	83,40	100,00
Ожеговка	5		–	–	–	7,66	6,53	14,12	92,48	86,33	94,73

Самородное золото типа II распространено значительно меньше, единичные зерна были обнаружены в россыпных отложениях только трех водотоков: р. Большая Величка, р. Максимовка и р. Малая Нясьма. Отличительными чертами этого типа являются присутствие меди, содержания

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

которой изменяются в широких пределах (0,21-23,22 мас.%), и низкое содержание серебра (0,25-5,46 мас.%). В составе отмечена ртуть в количестве до 1,15 мас.%. Проба самородного золота этого типа изменяется от 767 до 974 ‰. Отметим, что ввиду малой выборки золотин типа II невозможно полностью оценить вариации химического состава и средние значения содержания примесей.

Тип III самородного золота выделяется условно, поскольку в россыпи р. Матюшенка обнаружены только два зерна принципиально отличного от других типов химического состава. Единственной примесью является серебро в количестве 44,53 и 49,78 мас.%.

Таблица 3

Средний химический состав самородного золота россыпей II, III типов, мас.%

Россыпь рек	Тип	Cu	Hg	Ag	Au
Большая Величка	II	0,21	0,82	2,51	96,65
		1,62	–	1,41	97,36
Максимовка	II	3,83	1,15	5,46	89,74
		0,82	–	3,60	95,99
Малая Нясьма	II	23,22	–	0,25	76,74
Матюшенка	III	–	–	44,53	56,72
		–	–	49,78	50,95

Высокопробные каймы, часто развивающиеся по периферии частиц самородного золота в россыпях, изучены также с точки зрения химического состава. Для них характерно резкое снижение содержания всех примесей. Степень облагораживания краевых высокопробных кайм не демонстрирует зависимости от исходного состава золотин, а суммарное содержание примесей не превышает первых процентов.

Ассоциации минералов включений. Россыпное самородное золото содержит большое количество включений рудных минералов (табл.4). Среди них чаще всего встречаются зерна пирита как сложной формы, так и с элементами кристаллографического ограничения (рис.4, *а*), размер которых составляет 5-20 мкм. В виде единичных зерен отмечены пирротин (Py), халькопирит (Chp), петцит (Ptz), галенит (Gn), молибденит (Mol) (рис.4, *а, в*). Единственное включение борнита, размер которого составляет 4 мкм, обнаружено в медистом самородном золоте типа II из россыпи р. Большая Величка.

Таблица 4

Включения рудных минералов в самородном золоте

Россыпь рек	Тип	Py	Pyh	Chp	Bn	Gn	Mol	Ptz
Талая	I	4	1	1	–	1	–	–
Каменка	I	10	–	1	–	1	1	–
Матюшенка	I	3	1	–	–	–	–	–
Малая Нясьма	I	3	–	–	–	–	–	2
Максимовка	I	1	–	–	–	–	–	–
Большая Величка	II	–	–	–	1	–	–	–

Нерудные минералы часто образуют включения в самородном золоте. Среди них широко распространены кварц, альбит, эпидот, реже встречаются кальцит и апатит. Необычные многочисленные включения водосодержащего фосфата РЗЭ, предположительно рабдофана, обнаружены в золотинах россыпи р. Талая (рис.4, *б*). Они имеют сложную червеобразную форму и размер 1-10 мкм. Важно отметить, что включения рабдофана распространены лишь в краевой части золотины, которая характеризуется повышенной относительно центра пробой и практически полным отсутствием примесей.

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

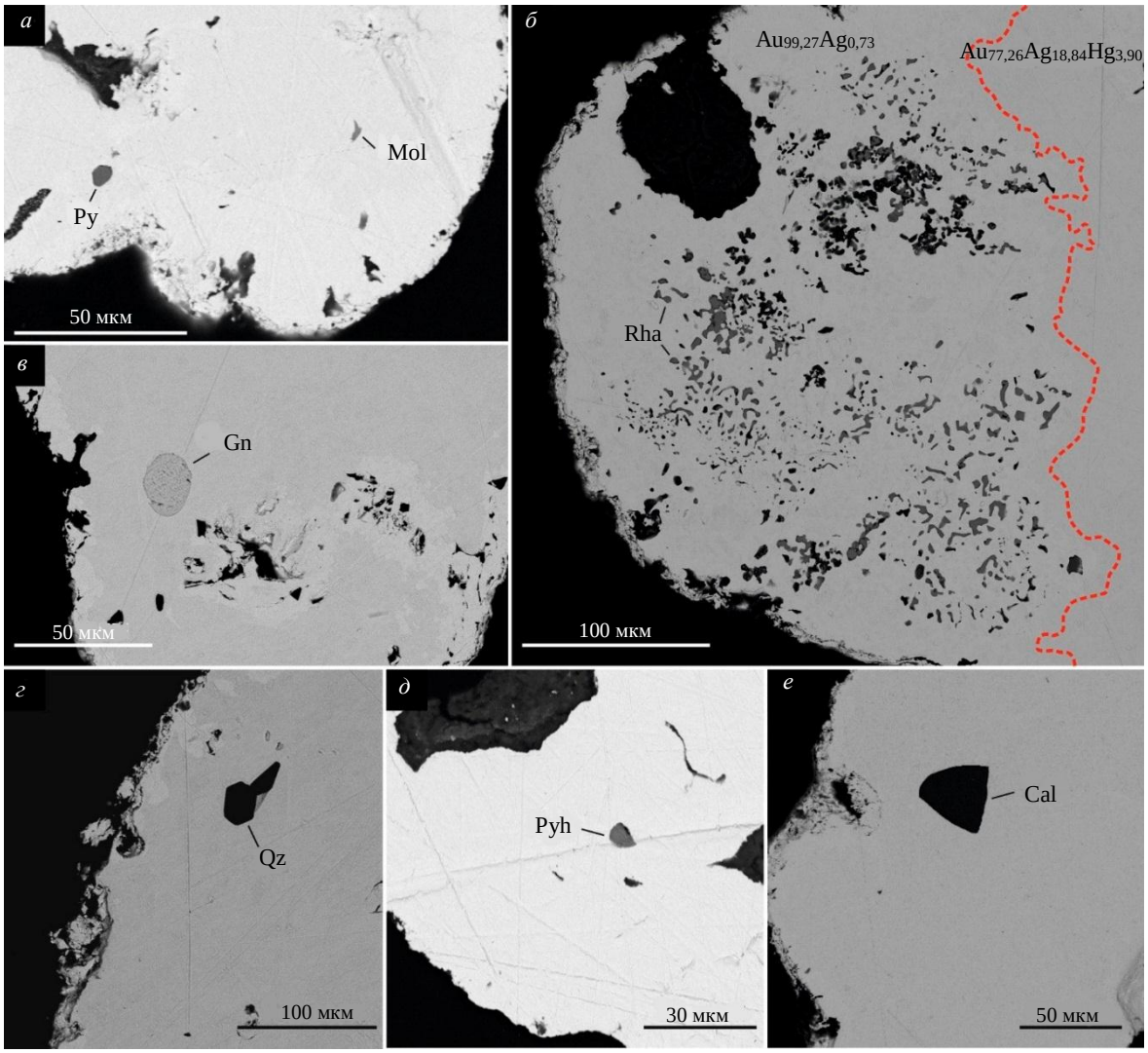


Рис.4. Включения в самородном золоте из россыпей Мурзинской группы

Gn – галенит; Mol – молибденит; Py – пирит; Rha – рабдофан; Qz – кварц; Pyh – пирротин; Cal – кальцит. Красным пунктиром показана граница высокопробного участка самородного золота

Обсуждение результатов

Россыпь р. Мурзинка и ее притоков является крупным россыпным месторождением, которое внесло значительный вклад в ресурсную базу Среднего Урала. Суммарный объем добычи самородного золота из этих россыпей составляет около 1,5 т. Концентрирование столь значительного объема золота является результатом совокупности нескольких факторов, главные из которых – высокая продуктивность коренных источников и последовательность климатических и геоморфологических обстановок, обусловивших аккумуляцию золотоносных речных отложений. Изученные типоморфные характеристики самородного золота позволили оценить условия формирования россыпей и выделить типы коренных источников.

Дальность переноса от коренных источников. В результате исследования морфологических особенностей шлихового золота из россыпей Мурзинской группы установлена дальность его переноса от коренных источников. При транспортировке в водотоках по мере увеличения расстояния и с повышением числа механических деформаций золотины закономерно претерпевают изменения формы, которые заключаются в окатывании и уплощении [14]. На примере исследования россыпей района Клондайк в Британской Колумбии показано [15], что процессы окатывания частиц самородного золота, обмятия выступающих частей и сглаживания их поверхностей проявляются на начальных этапах переноса. На расстоянии около 5 км от коренного источника степень окатанности достигает своего пика и при дальнейшем нахождении золота в водотоках практически не меняется.

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Процессы механического уплощения золотин начинают проявляться на расстоянии более 3 км и линейно развиваются при дальнейшей транспортировке. Самородное золото изученных россыпей характеризуется преобладанием средней степени окатанности и шагреневой поверхностью, свойственной золоту, переносимому в водных потоках [6, 15]. Распространение слабоуплощенных и комковидных золотин указывает на сохранение первичных форм и отсутствие значительного механического уплощения. Перечисленные характеристики позволяют предположить, что самородное золото накапливалось в россыпях Мурзинской группы после транспортировки от коренных источников на расстояния первых километров. В то же время в россыпных отложениях р. Талая встречены единичные золотины рудного облика, сохранившие сложную морфологию и тонкие детали скульптуры поверхностей. Данный факт свидетельствует о том, что в формирование россыпи р. Талая дополнительный вклад внес коренной источник, расположенный на расстоянии, не превышающем первые сотни метров.

Экзогенные преобразования самородного золота. Внутренние структуры самородного золота также несут следы экзогенного преобразования. Характерной чертой являются высокопробные прожилки, получившие развитие по границам зерен внутри агрегатов самородного золота. Подобные структуры достаточно часто отмечаются в самородном золоте россыпей и коренных месторождений, однако вопрос их генезиса изучен недостаточно. Широко распространены представления [9, 16] о формировании прожилков в условиях зон окисления в результате залечивания межзерновых полостей в золоте, образовавшихся в ходе диффузии. Существует мнение о связи подобных структур с процессами грануляции золота и перераспределения серебра, вызванными метаморфизмом [17]. Высказано предположение о возможности образования высокопробных межзерновых прожилков на завершающих стадиях гидротермальных процессов, формирующих золотое оруденение [18]. С учетом истории геологического развития района, в котором расположена Мурзинская группа россыпей, наиболее вероятной причиной возникновения подобных структур является экзогенное преобразование в корах выветривания, формировавшихся на протяжении верхнемезозойского климатического этапа.

Отдельного внимания заслуживают сложные срастания самородного золота с водосодержащими фосфатами РЗЭ. Извилистые червеобразные формы прорастания минералов группы рабдофана в высокопробной части агрегата золота несут признаки совместного роста. В высокопробных частях золотин отмечаются многочисленные фрагменты золота, содержащего значительные количества примесей серебра, соответствующие по составу центральным частям. Ориентировка этих фрагментов зачастую идентична ориентировке расположенных в непосредственной близости крупных индивидов первичного самородного золота (рис.5). Этот факт позволяет рассматривать данные фрагменты в качестве реликтовых участков первичного золота, замещенного агрегатом облагороженного золота. Внутреннее строение облагороженных краевых частей золотин характеризуется меньшим размером слагающих их индивидов. При этом в индивидах отмечаются многочисленные протяженные двойники. Структуры тонкозернистого строения широко распространены в высокопробных каймах на частицах россыпного самородного золота [19]. Их формирование объясняется полной перекристаллизацией механически деформированных участков, сопровождающейся очищением золота от примесей [5]. Согласно морфологическим законам изометризации и минимальной протяженности границ [20], в результате полной перекристаллизации формируются агрегаты, состоящие из изометричных полиэдров, двойники и удлиненные индивиды возникать в этом случае не могут. Следовательно, изученные структуры облагороженных частей золотин не являются результатом перекристаллизации.

Существует два возможных объяснения наблюдаемых двойниковых структур – свободный рост индивидов (ростовые двойники) и двойникование при изменении ориентировки кристаллической решетки в результате механических деформаций (механические двойники). Результаты дифракции обратнорассеянных электронов выявили одинаковую ориентировку кристаллической решетки в пределах каждого отдельно взятого индивида. Практически не отмечаются зоны локальных разориентировок, что свидетельствует об отсутствии механических деформаций облагороженных участков. Таким образом, двойниковые структуры, распространенные в высокопробных участках золотин, были сформированы в процессе свободного роста.

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

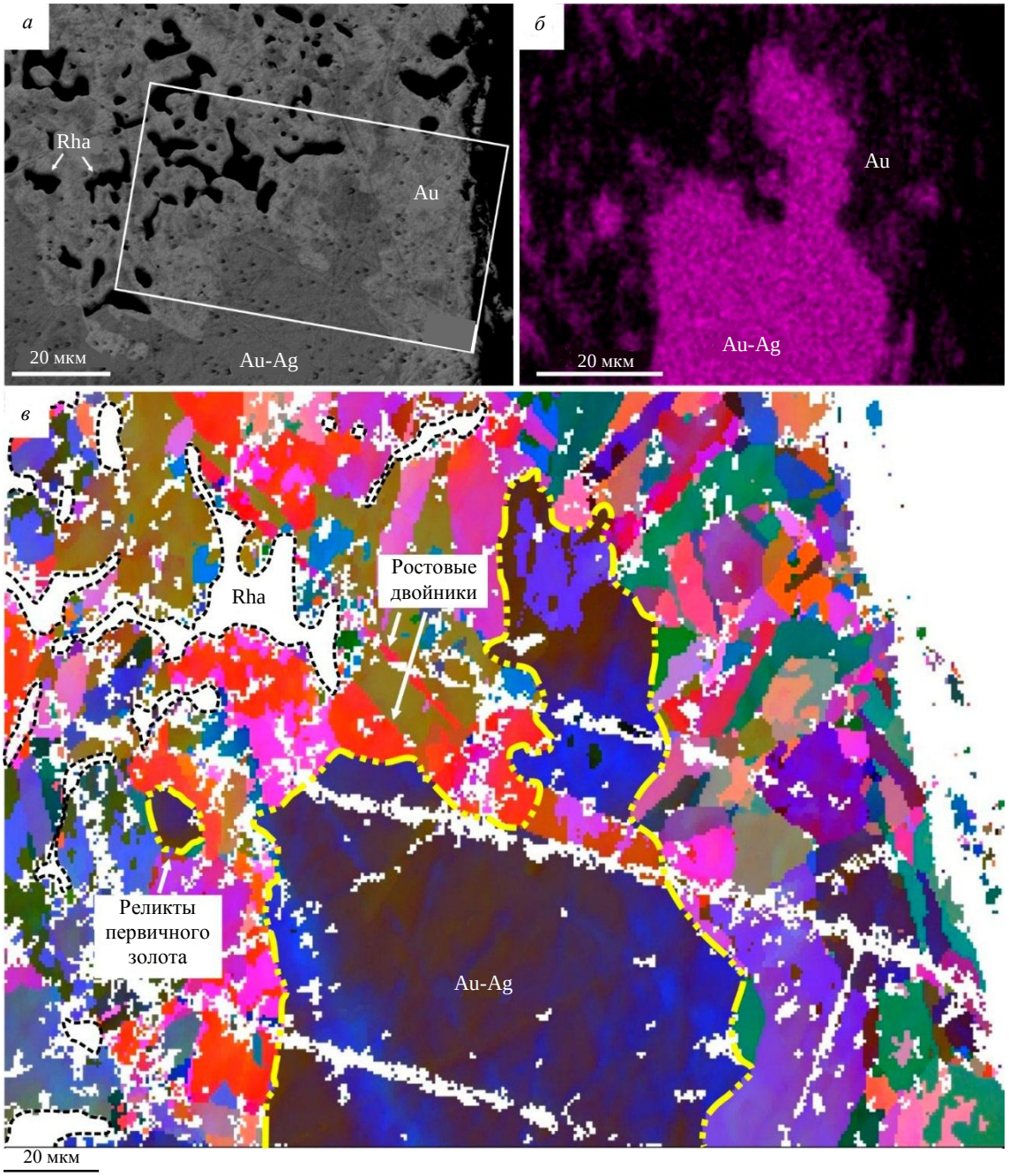


Рис.5. Внутреннее строение самородного золота с включениями рабдофана. Изображение в режиме BSE (*а*); карта распределения Au (*б*); карта ориентировки кристаллической решетки в кодировке цветов Эйлера, полученная в результате применения EBSD, шаг 0,25 мкм (*в*).
Белым контуром на рис. *а* обозначена область золотины на рис. *б, в*

Процессы переотложения РЗЭ с образованием гипергенной минерализации, в том числе и рабдофана, детально описаны в корах выветривания, сформированных по гранитам [21, 22] в вулканогенно-осадочных толщах, с которыми связано колчеданное полиметаллическое оруденение [23]. Исследователи отмечают важное значение процесса окисления сульфидов с образованием сульфатных растворов, которые способствовали разложению первичных минералов, высвобождению РЗЭ [23] и их миграции по профилю зоны окисления [21]. Окисление сульфидов, в первую очередь пирита, и плагиоклаза играет ключевую роль в образовании тиосульфатов, которые обеспечивают ремобилизацию самородного золота, его транспортировку и переотложение с формированием высокопробных агрегатов в условиях кор выветривания [24, 25]. Возможность формирования высокопробного золота в результате растворения и переотложения в условиях зоны окисления также доказана при изучении коры выветривания Суздальского месторождения [26]. Миграция самородного

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

золота, связанная с разрушением пирита в зоне окисления золотосульфидных месторождений, подробно описана коллективом геологов под руководством В.М.Крейтера [27]. С учетом внутреннего строения самородного золота в данном случае для объяснения механизма облагораживания может быть привлечена модель электрохимического самоочищения самородного золота (self-electrorefining) в ходе растворения и практически сразу происходящего отложения золота, предложенная Дж.Гроеном с соавторами [19]. Таким образом, обстановки, подходящие для одновременной кристаллизации самородного золота и рабдофана, могут существовать в условиях зоны окисления, где за счет разрушения сульфидов и плагиоклазов, а также привноса грунтовыми водами фосфора происходит переотложение как РЗЭ, так и золота, сопровождающееся его очищением от примесей и повышением пробы. Обнаружение срастаний водных фосфатов РЗЭ с высокопробным золотом сложной морфологии является прямым свидетельством формирования высокопробных участков в золотинах в условиях кор выветривания.

Механические деформации, которым было подвержено самородное золото в процессе переноса из коренных источников в россыпи, также отражаются на его внутренней структуре. Картины дифракции обратнорассеянных электронов демонстрируют множественные участки разориентировки кристаллической решетки, образовавшиеся в ходе соударения золотин с обломками других пород и минералов. Наибольшие деформации претерпели краевые зоны частиц самородного золота, что привело к накоплению напряжений внутри зерен. Широкое распространение высокопробных периферических кайм может быть объяснено процессами очищения золота от примесей в результате перекристаллизации деформированных зон [5, 28, 29]. В ходе формирования четвертичных аллювиальных отложений происходил частичный размыв более древних плейстоценовых и неогеновых золотоносных аллювиальных и аллювиально-делювиальных образований, что отчетливо заметно на разрезах долин современной гидросети. Этот процесс, вероятно, сопровождался переотложением части россыпного золота, что могло способствовать увеличению степени деформации золотин и, следовательно, развитию высокопробных каемок. Схожие выводы о возможном переотложении самородного золота из промежуточных коллекторов плиоценового и плейстоценого возраста в четвертичных россыпях сделаны для Вагранского золотоносного россыпного узла на Северном Урале [30], расположенного в 100 км севернее от Мурзинской группы россыпей.

Коренные источники самородного золота. Обнаружение самородного золота принципиально различного состава позволяет предположить несколько генетических типов коренных источников, участвовавших в формировании россыпей. Схожесть состава самородного золота с примесями серебра и ртути (тип I) во всех изученных россыпях указывает на единый формационный тип первичных источников. Самородное золото со схожими особенностями химического состава описано для россыпей, формировавшихся в различных геологических обстановках. Многочисленные исследования рудно-россыпных районов с орогенными золоторудными месторождениями выявили преобладание шлихового золота с высокими вариациями содержаний серебра и примесью ртути до первых процентов [2-5, 31]. В конгломератах месторождения Витватерсранд установлена проба золота 809-929 ‰, концентрации серебра 6,0-17,6 мас.% и ртути 0,6-5,8 мас.% [32]. В работах, посвященных россыпям Северного Салаира, показано, что источниками золота с примесями серебра и ртути могут служить метасоматиты золоторудных месторождений, связанных с интрузиями [33, 34]. Схожие составы (проба 800-995 ‰ и примесь ртути до 4,68 мас.%) установлены для россыпного золота, связанного с верхними уровнями Быстринского скарново-порфирового Au-Cu-Fe-месторождения. Самородное золото высокой пробы (892-899 ‰) со значительными примесями ртути (1,72-2,16 мас.%) установлено в водотоках Унья-Бомского рудно-россыпного узла [35]. Таким образом, химический состав самородного золота не позволяет однозначно определить принадлежность первичных источников к конкретной рудной формации. Недостаточность данных о составе для решения вопроса об источниках россыпей подтверждают исследования шлихового золота районов, сочетающих коренную минерализацию различных генетических типов [31].

Дополнительным признаком при определении коренных источников может служить размер золотин, встреченных в россыпях Мурзинской группы. Преобладание крупной фракции 0,5-1,0 мм и архивные сведения об обнаружении в аллювиальных отложениях при старательской отработке самородков золота массой до 170 золотников (725 г) позволяют предполагать в качестве источника

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

россыпного золота типа I объекты золотокварцевой формации, для которой особенно характерны крупные агрегаты [36] и самородки золота [9]. Такое предположение согласуется с данными о составе золота в месторождениях золотокварцевой формации [37] и геологическим строением территории: в верховье р. Малая Нясьма известно Малонясьменское коренное рудопроявление золотокварцевого типа, которое может служить примером объектов, при разрушении которых сформировались россыпи. Золотоносная кварцевая жила (Таловское рудопроявление) была обнаружена в ходе поискового бурения в долине р. Талая [11].

В ассоциации минеральных включений, обнаруженной в россыпном золоте типа I, резко преобладает пирит, реже встречаются пирротин, галенит, халькопирит, молибденит и петцит. Включения рудных минералов могут иметь принципиально важное значение для установления связи россыпного золота с коренной благороднометалльной минерализацией. Исследования ассоциаций включений в самородном золоте россыпей из районов с развитием первичного оруденения различных генетических типов показали, что перечисленные рудные минералы наиболее часто встречаются в виде включений в россыпном золоте, связанном с плутоногенными гидротермальными системами [38]. Включения молибденита теллуридов надежно указывают на связь коренных источников с магматическими процессами [39]. Таким образом, в качестве коренных источников самородного золота типа I в россыпях Мурзинской группы могли выступать кварцевые жилы, образование которых связано с внедрением диоритов Каменского массива.

Гистограммы пробы самородного золота и кумулятивные кривые содержания серебра (рис.6) наглядно демонстрируют постепенное изменение состава самородного золота типа I от подтипа а к подтипу г. Для россыпи р. Максимовка (подтип а) характерны самые большие содержания серебра (медианное 16,76 мас.%) и высокие содержания ртути (до 3,01 мас.%). В россыпях рек Большая Величка, Малая Нясьма и Мурзинка (подтип б) также отмечаются высокие значения примеси ртути (до 4,40 мас.%), при этом медианные значения содержания серебра снижаются до 13,01-13,40 мас.%. Россыпи рек Матюшенка, Каменка и Ожеговка (подтип г) характеризуются наименьшими значениями примеси серебра (медианное 7,32-8,66 мас.%) и низким количеством ртути – в большинстве зерен она не выявлена. Самородное золото в россыпях рек Талая и Холодная (подтип в) демонстрирует бимодальное распределение пробы (рис.6, *в*), а по содержанию примесей оно занимает промежуточное положение. С одной стороны, максимальные значения содержания серебра и ртути (до 23,43 мас.% Ag и до 4,96 мас.% Hg) сближает золото этих россыпей с типом Iб (россыпи рек Большая Величка, Малая Нясьма и Мурзинка), с другой, медианные значения содержания Ag (10,03 и 7,00 мас.%) больше соответствуют типу Iг (реки Матюшенка, Каменка и Ожеговка). Переходное положение самородного золота типа Iв из россыпей рек Талая и Холодная отчетливо проявляется и на графике кумулятивных кривых содержания серебра (рис.6, *д*). Таким образом, популяция золотин в россыпях рек Талая и Холодная является результатом смешения самородного золота типа I подтипов б и г.

В пространственном расположении россыпей, содержащих самородное золото I типа, отмечена закономерность (рис.7). Россыпи, содержащие самородное золото подтипа г с минимальным количеством примесей (реки Каменка, Матюшенка и Ожеговка), расположены в непосредственной близости друг от друга в пределах развития вулканитов кабанской свиты. Россыпи с самородным золотом типа Iб и Iв образуют две протяженные полосы в пределах мариинского метаморфического комплекса и габброидов Павдинского массива. Наиболее западное положение занимает россыпь р. Максимовка, содержащая самородное золото подтипа а, характеризующееся наибольшим количеством примесей. Принимая во внимание небольшое расстояние переноса золота, можно сделать вывод о том, что распределение подтипов I типа самородного золота в россыпях Мурзинской группы отражает зональность коренной минерализации золотокварцевого типа, проявленную в постепенном снижении пробы и увеличении количества примесей Ag и Hg с востока на запад.

Наблюдаемая зональность может быть объяснена различием расстояния образования кварцевых жил от каменского интрузива, послужившего источником флюидов. По мере удаления (по вертикали или горизонтали) от интрузива могло происходить снижение температуры и изменение состава флюида, в результате чего понижалась проба самородного золота и увеличивалось количество примесей в нем. Дополнительным фактором, который мог оказать влияние на состав самородного золота в кварцевых жилах, является состав вмещающих пород: россыпи, расположенные

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

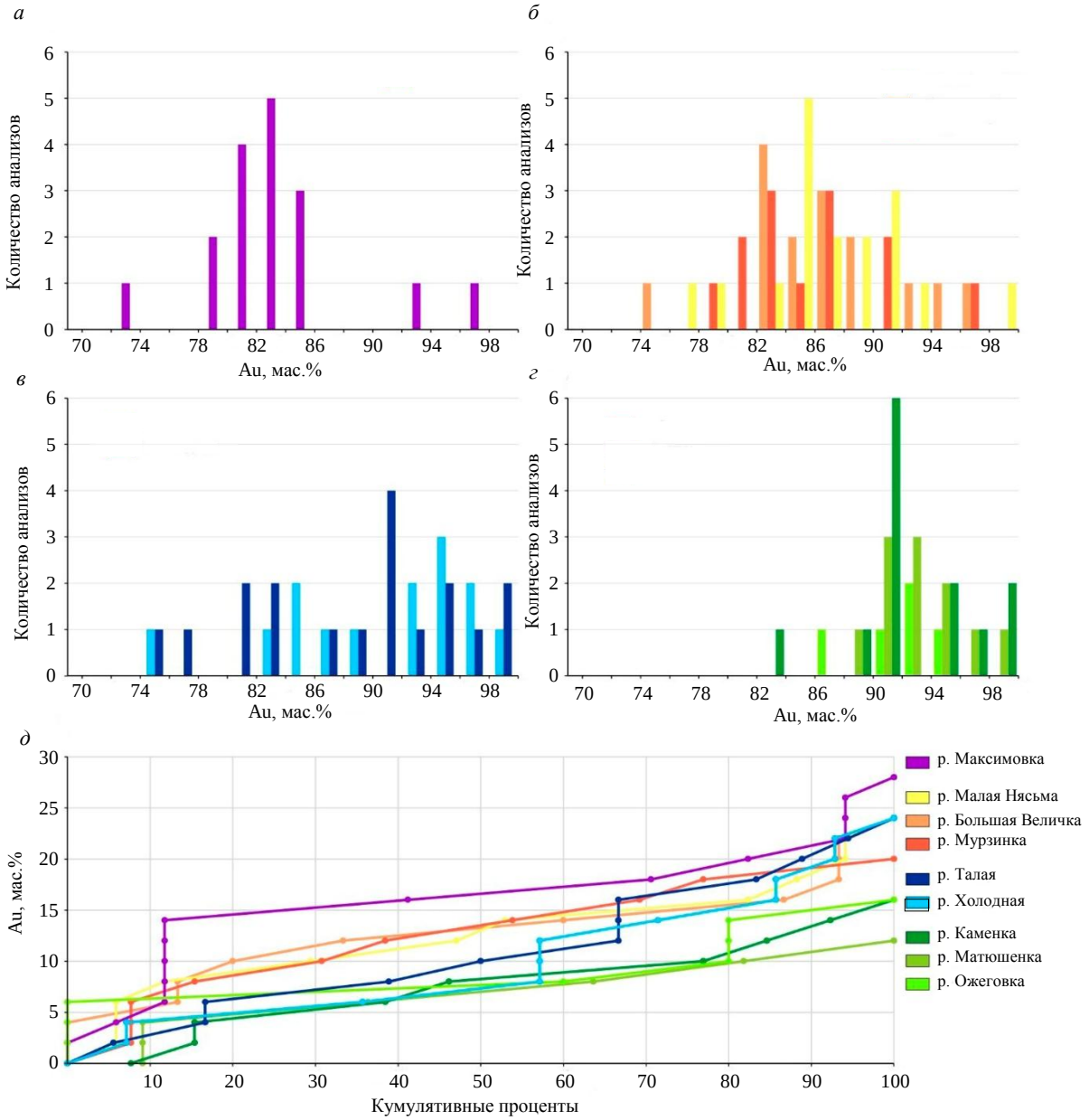


Рис.6. Распределение самородного золота типа I по пробе (*а-г*) и кумулятивные кривые содержания Ag (*д*)
Гистограммы построены с шагом 2 мас.%

в зоне развития вулканогенно-осадочных толщ кабанской свиты, характеризуются золотом повышенной пробы относительно золота из россыпей, залегающих в пределах габброидов Павдинского массива.

Главной отличительной чертой самородного золота типа II является присутствие в его составе меди и меньших по сравнению с типом I примесей серебра и ртути. Все находки медистого золота в пределах Мурзинской группы россыпей (реки Малая Нясьма, Максимовка, Большая Величка) приурочены к ее западной части, где происходил снос обломочного материала в долины водотоков со склонов возвышенностей, сложенных базитами павдинского комплекса. Присутствие меди в составе самородного золота является отличительной чертой благородной минерализации, локализованной в габбровых частях массивов ППУ [40-42]. С учетом особенностей химического состава самородного золота II типа, его пространственного распределения в россыпях Мурзинской группы и геологического строения территории, в качестве источника этой разновидности могли служить габброиды Павдинского массива. Отсутствие примеси палладия, также весьма характерной для самородного золота из массивов ППУ, может быть объяснено малой выборкой изученных золотин.

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

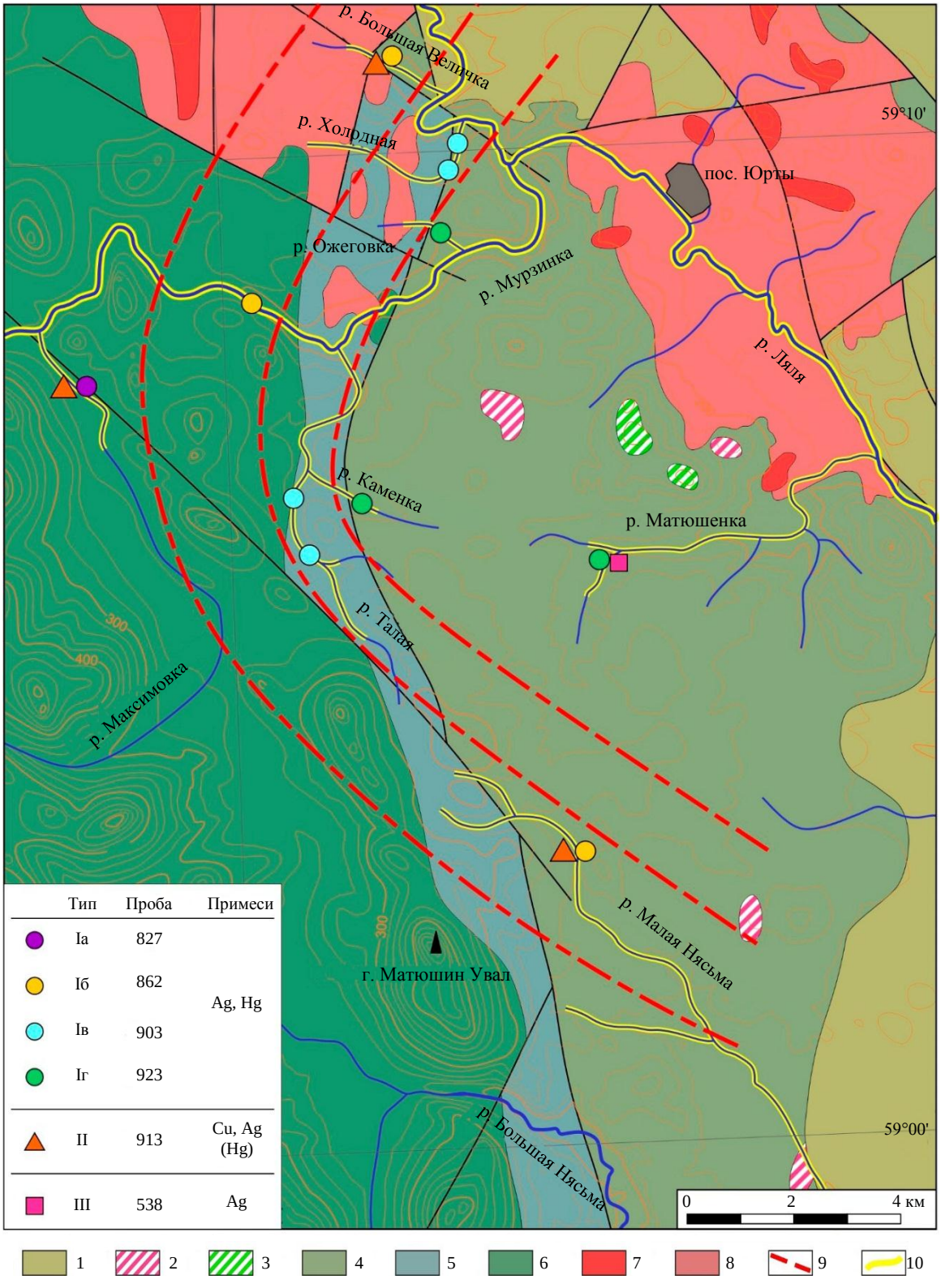


Рис.7. Распределение самородного золота различных типов в россыпях Мурзинской группы

1 – позднеордовикские-раннесилурийские вулканиты от базальтов до риолитов кабанской свиты; 2 – кабанские субвулканические образования, штоки габбродолеритов; 3 – кабанские субвулканические образования, штоки риодацитов; 4 – раннесилурийские вулканиты от базальтов до риолитов павдинской свиты; 5 – позднеордовикские амфиболиты и амфиболизированные долериты мариинского метаморфического комплекса; 6 – позднеордовикские габброиды Павдинского массива; 7 – позднесилурийские граниты; 8 – раннесилурийские диориты и габбродиориты Каменского массива; 9 – предполагаемая зональность коренной золотокварцевой минерализации I типа; 10 – россыпи золота

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Резкие различия I и II типов самородного россыпного золота отражены и в наборе минеральных включений. Борнит является единственным рудным минералом, образующим включения в медистом золоте. Минералого-геохимические исследования габбро массива Серебрянского Камня, входящего в Кытлымский плутон ППУ, показали, что наибольшие концентрации благородных металлов приурочены к минерализованным зонам с халькопирит-халькозин-борнитовой ассоциацией медносульфидных минералов [43]. Данный факт подтверждает вывод о связи самородного золота типа II с медно-благороднометалльной минерализацией в габбро.

Предположения о происхождении самородного золота типа III, отличающегося низкой пробой, ввиду очень ограниченного его распространения и невозможности статистической оценки химического состава, не могут быть достоверно подкреплены фактическим материалом и являются умозрительными. Увеличение примеси серебра с уменьшением глубины формирования кварцевых жил, послуживших источником золота I типа, является одним из вероятных объяснений появления низкопробного самородного золота в россыпях Мурзинской группы.

Совокупность изученных свойств самородного золота позволяет с высокой степенью достоверности предположить в качестве основного источника питания россыпей коренные объекты золотокварцевого типа. Второстепенное значение в формировании россыпной золотоносности р. Мурзинка и ее притоков имеют зоны медносульфидной минерализации в габбро Павдинского массива, с которыми связана благороднометалльная минерализация.

Заключение

В результате проведенных исследований детально охарактеризованы морфологические признаки, химический состав и внутреннее строение самородного золота девяти россыпей Мурзинской зоны. Морфологические особенности и степень окатанности золотин в россыпях позволяют сделать вывод о расположении коренных источников золота в непосредственной близости от россыпей – на расстоянии от сотен метров до первых километров.

Установленные закономерности внутреннего строения самородного золота могут быть объяснены особенностями тектоно-климатического и геоморфологического развития региона. Обнаруженные высокопробные межзерновые прожилки и срастания золота с минералами группы рабдофана позволили прийти к заключению о нахождении самородного золота в зоне гипергенеза в период активного развития кор выветривания в верхнем мезозое и палеогене. Последующие процессы эрозии и переотложение материала кор выветривания, сопровождавшиеся формированием россыпей, нашли отражение в механических деформациях частиц самородного золота в процессе переноса. После концентрации золотин в аллювиальных и аллювиально-делювиальных отложениях происходила перекристаллизация наиболее деформированных краевых частей с очищением от примесей и образованием высокопробных кайм.

Анализ особенностей химического состава и ассоциаций минеральных включений позволил выделить три типа самородного золота, распространенного в россыпях, и установить связь этих типов с разными коренными источниками. Тип I, характеризующийся высокой пробой и примесями Ag и Hg, абсолютно преобладает в россыпных отложениях. В качестве источника для этого типа рассматривается коренная минерализация золотокварцевого типа, примеры рудных объектов которой нашли широкое распространение в пределах изученной территории. Количество примесей в самородном золоте этого типа позволяет выделить подтипы, распространение которых в россыпях отражает зональность коренной минерализации золотокварцевого типа.

Тип II, отличающийся высокими содержаниями меди, связан с благороднометалльной минерализацией в габброидах Павдинского массива. Такая находка является первым достоверно установленным примером концентрирования в россыпях самородного золота из основных интрузивов в пределах Уральской складчатости и доказывает возможность накопления в россыпях ранее описанного гравитационно обогатимого самородного золота в габбро ППУ.

Тип III низкопробного самородного золота обнаружен в количестве нескольких золотин, что ограничивает возможность определения его коренных источников. Одним из возможных объяснений может служить понижение пробы самородного золота с уменьшением глубины формирования кварцевых жил, послуживших источником первого типа.

Таким образом, формирование крупной системы россыпей в бассейне р. Мурзинка происходило преимущественно за счет источников золотокварцевого типа. Данный факт в совокупности

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

с небольшой дальностью переноса позволяет локализовать участки, перспективные на обнаружение коренных золоторудных объектов этого типа. Дополнительный вклад в образование россыпей внесли зоны благороднометалльной минерализации в основных породах Павдинского массива, что значительно расширяет представления о металлогеническом и россыпеобразующем потенциале габбро Платиноносного пояса Урала.

Авторы признательны заместителю директора по научной работе ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН д-ру геол.-минерал. наук Е.В.Белогуб, чья конструктивная критика позволила улучшить статью.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Литвиненко В.С., Петров Е.И., Василевская Д.В. и др.* Оценка роли государства в управлении минеральными ресурсами // Записки Горного института. 2023 Т. 259. С. 95-111. DOI: 10.31897/PMI.2022.100

2. *Chapman R.J., Mortensen J.K., Crawford E.C., Lebarge W.P.* Microchemical Studies of Placer and Lode Gold in the Klondike District, Yukon, Canada: 2. Constraints on the Nature and Location of Regional Lode Sources // Economic Geology. 2010. Vol. 105. № 8. P. 1393-1410. DOI: 10.2113/econgeo.105.8.1393

3. *Chapman R.J., Mortensen J.K., LeBarge W.P.* Styles of lode gold mineralization contributing to the placers of the Indian River and Black Hills Creek, Yukon Territory, Canada as deduced from microchemical characterization of placer gold grains // Mineralium Deposita. 2011. Vol. 46. Iss. 8. P. 881-903. DOI: 10.1007/s00126-011-0356-5

4. *Zaykov V.V., Melekestseva I.Yu., Zaykova E.V. et al.* Gold and platinum group minerals in placers of the South Urals: Composition, microinclusions of ore minerals and primary sources // Ore Geology Reviews. 2017. Vol. 85. P. 299-320. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2016.10.001

5. *Козин А.К., Степанов С.Ю., Паламарчук Р.С. и др.* Шлиховые ассоциации минералов золотоносных россыпей Миасской россыпной зоны (Южный Урал) и возможные коренные источники золота // Геология и геофизика. 2023. Т. 64. № 9. С. 1219-1237. DOI: 10.15372/GIG2023114

6. *Никифорова З.С., Калинин Ю.А., Макаров В.А.* Эволюция самородного золота в экзогенных условиях // Геология и геофизика. 2020. Т. 61. № 11. С. 1514-1534. DOI: 10.15372/GiG2020109

7. *Ларомов А.В., Наумов В.А., Григорьева А.В., Магазина Л.О.* Эволюция Вагранского золотоносного россыпного узла (Северный Урал) и перспективы выявления коренной минерализации // Геология рудных месторождений. 2020. Т. 62. № 5. С. 450-461. DOI: 10.31857/S0016777020050044

8. *Кузнецов Д.В., Степанов С.Ю., Бутняков А.В., Игошева В.С.* Лампрофиры золоторудного месторождения Пещерное, их геологическое положение, вещественный состав и метасоматические преобразования (Северный Урал) // Записки Горного института. 2025. Т. 271. С. 22-41.

9. *Петровская Н.В.* Самородное золото. Общая характеристика, типоморфизм, вопросы генезиса. М.: Наука, 1973. 347 с.

10. *Пучков В.Н.* Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. Уфа: Гилем, 2000. 146 с.

11. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Издание второе. Серия Южно-Уральская. Лист N-41-VII. Объяснительная записка. М.: Московский филиал ВСЕГЕИ, 2015. 167 с.

12. *Десятниченко Л.И., Фадеичева И.Ф., Смирнов В.Н. и др.* Позднеордовикско-силурийские вулканические комплексы Тагильской зоны (восточный склон Среднего Урала): вещественный состав, возраст, уточненная схема расчленения // Литосфера. 2005. № 2. С. 68-96.

13. *Сигов А.П.* Металлогения мезозоя и кайнозоя Урала. М.: Недра, 1969. 296 с.

14. *Nikiforova Z.* Criteria for Determining the Genesis of Placers and Their Different Sources Based on the Morphological Features of Placer Gold // Minerals. 2021. Vol. 11. Iss. 4. № 381. DOI: 10.3390/min11040381

15. *Knight J.B., Mortensen J.K., Morison S.R.* Lode and placer gold composition in the Klondike District, Yukon Territory, Canada; implications for the nature and genesis of Klondike placer and lode gold deposits // Economic Geology. 1999. Vol. 94. № 5. P. 649-664. DOI: 10.2113/gsecongeo.94.5.649

16. *Герасимов Б.Б.* Внутреннее строение зерен россыпного золота как поисковый признак при прогнозировании коренных источников северо-востока Сибирской платформы // Записки Российского минералогического общества. 2022. Т. 151. № 4. С. 33-55. DOI: 10.31857/S0869605522030042

17. *Николаева Л.А.* Генетические особенности самородного золота как критерии при поисках и оценке руд и россыпей. М.: Недра, 1978. 101 с.

18. *Савва Н.Е., Прейс В.К.* Атлас самородного золота Северо-Востока СССР. М.: Наука, 1990. 292 с.

19. *Groen J.C., Craig J.R., Rimstidt J.D.* Gold-rich rim formation on electrum grains in placers // The Canadian Mineralogist. 1990. Vol. 28. № 2. P. 207-228.

20. *Попов В.А.* Практическая генетическая минералогия. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. 167 с.

21. *Berger A., Janots E., Gnos E. et al.* Rare earth element mineralogy and geochemistry in a laterite profile from Madagascar // Applied Geochemistry. 2014. Vol. 41. P. 218-228. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2013.12.013

22. *Ichimura K., Sanematsu K., Kon Y. et al.* REE redistributions during granite weathering: Implications for Ce anomaly as a proxy for paleoredox states // American Mineralogist. 2020. Vol. 105. № 6. P. 848-859. DOI: 10.2138/am-2020-7148

23. *Belogub E.V., Shilovskikh V.V., Novoselov K.A. et al.* Authigenic rhabdophane from brown iron ore of the oxidation zone of the Babaryk massive sulfide occurrence (South Urals): scanning electron microscope (SEM) and electron backscattered diffraction (EBSD) study // European Journal of Mineralogy. 2021. Vol. 33. Iss. 5. P. 605-620. DOI: 10.5194/ejm-33-605-2021

24. *Craw D., Kerr G.* Geochemistry and mineralogy of contrasting supergene gold alteration zones, southern New Zealand // Applied Geochemistry. 2017. Vol. 85. Part A. P. 19-34. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2017.08.005

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

25. *Craw D., Lilly K.* Gold nugget morphology and geochemical environments of nugget formation, southern New Zealand // Ore Geology Reviews. 2016. Vol. 79. P. 301-315. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2016.06.001

26. *Kalinin Y.A., Palyanova G.A., Naumov E.A. et al.* Supergene remobilization of Au in Au-bearing regolith related to orogenic deposits: A case study from Kazakhstan // Ore Geology Reviews. 2019. Vol. 109. P. 358-369. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2019.04.019

27. *Крейтер В.М., Аристов В.В., Волынский И.С. и др.* Поведение золота в зоне окисления золото-сульфидных месторождений. М.: Госгеолтехиздат, 1958. 268 с.

28. *Palmer M., Ritchie T., Craw D.* Contrasting evolution of beach gold on two sides of an active orogen, Southern Alps, New Zealand // New Zealand Journal of Geology and Geophysics. 2024. Vol. 68. Iss. 2. P. 260-281. DOI: 10.1080/00288306.2024.2314468

29. *Stewart J., Kerr G., Prior D. et al.* Low temperature recrystallisation of alluvial gold in paleoplacer deposits // Ore Geology Reviews. 2017. Vol. 88. P. 43-56. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2017.04.020

30. *Lalomov A.V., Chefranov R.M., Naumov V.A. et al.* Typomorphic features of placer gold of Vagran cluster (the Northern Urals) and search indicators for primary bedrock gold deposits // Ore Geology Reviews. 2017. Vol. 85. P. 321-335. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2016.06.018

31. *Chapman R., Mortensen J.K., Murphy R.* Compositional Signatures of Gold from Different Deposit Types in British Columbia, Canada // Minerals. 2023. Vol. 13. Iss. 8. № 1072. DOI: 10.3390/min13081072

32. *Frimmel H.E., Gartz V.H.* Witwatersrand gold particle chemistry matches model of metamorphosed, hydrothermally altered placer deposits // Mineralium Deposita. 1997. Vol. 32. Iss. 6. P. 523-530. DOI: 10.1007/s001260050119

33. *Неволько П.А., Колпаков В.В., Нестеренко Г.В., Фоминых П.А.* Самородное золото аллювиальных россыпей северо-западного Салаира: состав, типы и минеральные микровключения // Геология и геофизика. 2019. Т. 60. № 1. С. 79-100. DOI: 10.15372/GiG2019005

34. *Fominykh P.A., Nevolko P.A., Svetlitskaya T.V., Kolpakov V.V.* Native gold from the Kamenka-Barabanovsky and Kharuzovka alluvial placers (Northwest Salair Ridge, Western Siberia, Russia): Typomorphic features and possible bedrock sources // Ore Geology Reviews. 2020. Vol. 126. № 103781. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2020.103781

35. *Степанов В.А., Мельников А.В.* Унья-Бомский рудно-россыпной узел Приамурской золотоносной провинции // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2014. № 6. С. 26-31.

36. *Николаева Л.А., Гаврилов А.М., Некрасова А.Н. и др.* Самородное золото рудных и россыпных месторождений России. Атлас. М.: Акварель, 2015. 200 с.

37. *Никифорова З.С., Толстов А.В.* Золотоносные россыпеобразующие формации востока Сибирской платформы: происхождение и перспективы // Геология рудных месторождений. 2022. Т. 64. № 2. С. 165-190. DOI: 10.31857/S0016777022020022

38. *Chapman R.J., Mortensen J.K., Allan M.M. et al.* A New Approach to Characterizing Deposit Type Using Mineral Inclusion Assemblages in Gold Particles // Economic Geology. 2022. Vol. 117. № 2. P. 361-381. DOI: 10.5382/econgeo.4863

39. *Afifi A.M., Kelly W.C., Essene E.J.* Phase relations among tellurides, sulfides, and oxides; Pt. II. Applications to telluride-bearing ore deposits // Economic Geology. 1988. Vol. 83. № 2. P. 395-404. DOI: 10.2113/gsecongeo.83.2.395

40. *Аникина Е.В., Алексеев А.В.* Минералого-геохимическая характеристика золото-палладиевого оруденения в Волковском габбро-диоритовом массиве (Платиноносный пояс Урала) // Литосфера. 2010. № 5. С. 75-100.

41. *Мурзин В.В., Пальянова Г.А., Аникина Е.В., Молошаг В.П.* Минералогия благородных металлов (Au, Ag, Pd, Pt) Волковского Cu-Fe-Ti-V месторождения (Средний Урал) // Литосфера. 2021. Т. 21. № 5. С. 643-659. DOI: 10.24930/1681-9004-2021-21-5-643-659

42. *Степанов С.Ю., Паламарчук Р.С., Пучков В.Н., Петров С.В.* Особенности химического состава минералов золота из габбровых массивов Платиноносного пояса Урала, Россия // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2022. Т. 507. № 2. С. 245-252. DOI: 10.31857/S2686739722601612

43. *Михайлов В.В., Степанов С.Ю., Козлов А.В. и др.* Новое медно-благороднометалльное рудопроявление в габбро массива Серебрянского Камня, Платиноносный пояс Урала (Северный Урал) // Геология рудных месторождений. 2021. Т. 63. № 6. С. 520-550. DOI: 10.31857/S0016777021060046

***Авторы*: Александр Кириллович Козин,** *младший научный сотрудник* (*Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, Миасс, Россия*), kozin@mineralogy.ru, *https://orcid.org/0009-0004-8197-4284*, **Сергей Юрьевич Степанов,** *канд. геол.-минерал. наук, старший научный сотрудник* (*Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, Миасс, Россия*), **Роман Сергеевич Паламарчук,** *канд. геол.-минерал. наук, научный сотрудник* (*Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, Миасс, Россия*), *https://orcid.org/0000-0001-5422-2627*, **Валерия Сергеевна Жданова,** *младший научный сотрудник* (*Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, Миасс, Россия*), *https://orcid.org/0009-0000-6895-6170*, **Наталья Сергеевна Власенко,** *инженер* (*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*), *https://orcid.org/0000-0002-5548-9478*.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0