



МИНЕРАЛОГОО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТЯЖЕЛОЙ ФРАКЦИИ РОССЫПИ р. МАЛАЯ НЕСТЕРОВКА (ПРИМОРСКИЙ КРАЙ) ПО ДАННЫМ МИКРОЗОНДОВОГО АНАЛИЗА

Е.И. МЕДВЕДЕВ*, В.В. ИВИН

ФГБУН «Дальневосточный геологический институт» Дальневосточного отделения Российской академии наук
159, пр-т 100-летия Владивостока, Владивосток 690022, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Фадеевский рудно-россыпной узел (Приморский край) является перспективной золотоносной площадью, однако коренные источники многочисленных россыпей узла до настоящего времени остаются дискуссионными. Впервые для россыпи реки Малая Нестеровка, локализованной в пределах этого узла, проведено комплексное микрозондовое исследование вещественного состава самородного золота и его минералов-спутников в тяжелой фракции россыпи.

Цель. Минералого-геохимическое изучение самородного золота и его минералов-спутников в магнитной, электромагнитной и тяжелой фракциях россыпи р. М. Нестеровка с применением микрозондового анализа и сканирующей электронной микроскопии для реконструкции возможных типов коренных источников питания и последующих постседиментационных процессов, происходящих в россыпной системе.

Материалы и методы. Исследование выполнено на пробах шлихового материала. Первичный минералогический контроль проводился под бинокулярными микроскопами МБС-10 и Nikon SMZ 465. Для детального микрохимического анализа методом SEM-EDS были отобраны индивидуальные зерна золота, сульфидов и других минералов-спутников. Анализы выполнены в ЦКП ДВГИ ДВО РАН на микрорентгеноспектральном анализаторе Jeol JXA-8100 (Япония) и сканирующем электронном микроскопе Carl Zeiss EVO 50 XVP (Германия) с энергодисперсионным спектрометром INCA Energy 350.

Результаты. Выявлен комплексный полимиктовый состав, включающий четыре геохимических типа самородного золота: высокопробное, уран-рубидиевое, ртутьсодержащее и золото с органоминеральными пленками. В шлихах идентифицированы платиноидные минералы (сперрилит), высокохромистые шпинелиды ($Cr\# = 0,95-0,99$), ферробадделеит, сульфиды (борнит, пирротин) и гипергенные Cr-Mn-Si образования. Доказано, что поверхность золотин подвержена сорбции органического вещества и глинистых минералов с формированием органоминеральных пленок, содержащих до 14,5 мас.% С и 12,7 мас.% О.

Закключение. На основании парагенетического анализа предложена модель разнотипного источника питания россыпи, включающего: 1) ультрамафит-мафитовый массив (источник сперрилита, хромита и бадделеита); 2) среднетемпературную золото-кварцевую минерализацию; 3) низкотемпературную золото-ртутную минерализацию; 4) специализированную золото-уран-редкометалльную минерализацию. Сохранность химически неустойчивых сульфидов свидетельствует о близости коренных источников. Разработаны минералого-геохимические критерии прогнозирования скрытого оруденения в пределах Фадеевского рудного узла.

Ключевые слова: россыпь золота, Малая Нестеровка, Приморский край, микрозондовый анализ, самородное золото, геохимические типы, сперрилит, бадделеит, источники питания, гипергенез

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследования проведены по теме госзадания ДВГИ ДВО РАН № 125033104605–6.

Для цитирования: Медведев Е.И., Ивин В.В. Минералого-генетические особенности тяжелой фракции россыпи р. Малая Нестеровка (Приморский край) по данным микрозондового анализа. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2026;68(1):8–18. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2026-68-1-8-18> EDN: MMAOBR

Статья поступила в редакцию 20.01.2026

Принята к публикации 28.01.2026

Опубликована 30.04.2026

* Автор, ответственный за переписку

MINERALOGY AND GEOCHEMISTRY OF HEAVY CONCENTRATE FROM THE MALAYA NESTEROVKA GOLD PLACER (PRIMORSKY KRAI): ELECTRON MICROPROBE DATA

EVGENII I. MEDVEDEV*, VITALY V. IVIN

*Far East Geological Institute Far East Branch Russian Academy of Sciences
159, 100-years Vladivostok ave., Vladivostok 690022, Russia*

ABSTRACT

Background. The Fadeevsky ore-placer cluster (Primorsky Krai) is a promising gold-bearing area; however, the bedrock sources of its numerous placers remain a subject of debate. For the first time, a comprehensive microprobe study of the composition of native gold and its associated heavy fraction minerals has been conducted on the Malaya Nesterovka River placer, located within this cluster.

Aim. To perform a mineralogical and geochemical study of native gold and accessory minerals in the magnetic, electromagnetic, and heavy fractions of the Malaya Nesterovka placer using microprobe analysis and scanning electron microscopy for reconstructing potential types of primary source rocks and assessing subsequent post-sedimentary (supergene) processes within the placer system.

Materials and methods. Samples of natural concentrates were studied. Preliminary mineralogical inspection was carried out using MBS-10 and Nikon SMZ 465 binocular microscopes. For a detailed microchemical research, individual grains of gold and accessory minerals were selected and analyzed by scanning electron microscopy with energy-dispersive spectroscopy (SEM-EDS). The analyses were performed at the Center for Collective Use of the Far East Geological Institute FEB RAS using a Jeol JXA-8100 electron probe microanalyzer (Japan) and a Carl Zeiss EVO 50 XVP scanning electron microscope (Germany) equipped with an INCA Energy 350 spectrometer.

Results. The concentrates were found to have a complex polymictic composition. Four geochemical types of native gold were identified: high-fineness, uranium-rubidium-bearing, mercury-bearing, and carbonaceous/organomineral-coated gold. Heavy mineral concentrates yielded platinum-group minerals (sperrylite), high-chromium spinels ($Cr\# = 0.95\text{--}0.99$), ferrian baddeleyite, sulfides (bornite, pyrrhotite), and supergene Cr-Mn-Si formations. The surface of gold particles was established to be susceptible to sorption of organic matter and clay minerals forming organomineral films containing up to 14.5 and 12.7 wt % of C and O, respectively.

Conclusion. As a result of the paragenetic analysis, a heterogeneous/diverse model of placer source rocks was proposed, including: (1) ultramafic-mafic massif (source of sperrylite, chromite, and baddeleyite); (2) mesothermal gold-quartz formation; (3) low-temperature gold-mercury mineralization; and (4) specialized gold-uranium-rare metal mineralization. The preservation of chemically unstable sulfides indicates the proximity of primary source rocks. Mineralogical and geochemical criteria for predicting concealed mineralization within the Fadeevsky Ore Cluster were developed.

Keywords: gold placer, Malaya Nesterovka, Primorsky Krai, microprobe analysis, native gold, geochemical types, sperrylite, baddeleyite, source rocks, supergene processes

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: research was carried out on the subject of the State Assignment of the FEGI FEB RAS № 125033104605–6.

For citation: Medvedev E.I., Ivin V.V. Mineralogy and geochemistry of heavy concentrate from the Malaya Nesterovka gold placer (Primorsky krai): electron microprobe data. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2026;68(1):8–18. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2026-68-1-8-18> EDN: MMAOBR

Manuscript received 20.01.2026

Accepted 28.01.2026

Published 30.04.2026

* Corresponding author

Геологическое строение и характеристика россыпи

Россыпное месторождение р. Малая Нестеровка расположено в пределах Фадеевского рудно-россыпного узла (юго-запад Приморского края). В геологическом плане узел характеризуется широким распространением палеозойских (силурийских, пермских) магматических (преимущественно интрузивных) образований по сравнению с осадочными и вулканогенно-осадочными комплексами, сохранившимися лишь в межразломных впадинах и между крупными плутонами. В низах стратифицированного разреза Фадеевской площади распространены базальтово-кремнисто-туфогенные, кремнисто-глинистые, аргиллитовые и туфогенно-песчаниковые отложения (кордонкинская свита, S1–2), а также алевро-песчано-сланцевые толщи, чередующиеся с вулканогенными накоплениями кислого и среднего составов, содержащими прослой известняков (решетниковская свита, P1–2). Породы вулканогенно-терригенного комплекса вблизи юго-западной и восточной границ узла прорваны крупными массивами гранитоидов позднепермского (γP2) и среднепалеозойского (γPz2) возрастов. Силурийские (послекаледонские) интрузивы представлены мелкими телами габбро-диабазов, базит-гипербазитов и диоритов, преобладают поздние фазы внедрения. Все комплексы пород интенсивно дислоцированы в меридиональном и северо-восточном направлениях при крутом падении пластов на запад и прорваны крупными массивами гранитоидов. Их кровля полого наклонена на запад, в ней отмечается обилие малых интрузий и даек гранитов, гранодиоритов, порфиров и порфиритов. Он представляет собой традиционный

золото-платиноидный район, где с начала прошлого века отрабатывались россыпи в аллювии рек Фадеевка и Золотая, связанные с разрывом гранитоидов и черносланцевых толщ соответственно. К настоящему времени промышленные россыпи в основном отработаны (рис. 1) [1, 2], что повышает ценность детальных минералого-геохимических исследований, проведенных на россыпи р. Малая Нестеровка, и позволит разработать критерии прогнозирования скрытого оруденения не только в пределах Фадеевского узла, но и на других объектах страны. Исследуемая россыпь представляет собой комплексный источник золота и является сложной геологической системой, аккумулирующей информацию о составе возможных коренных источников питания россыпи р. М. Нестеровка [3, 4, 7].

Долина реки Малой Нестеровки расположена в области юго-западного окончания (р. Нестеровки) в зоне развития миоценовых отложений устьуйфунской свиты, представленных светло-серыми и пестро-цветными глинами, песчано-гравийно-галечным материалом с повышенным содержанием золота. В современном рельефе свита почти полностью эродирована и слагает лишь мелкие разрозненные эрозионные останцы плиоценовых террас. Долина имеет асимметричный корытообразный профиль шириной 300–450 м. Горное обрамление долины сложено осадочными породами кордонкинской свиты нижнего силура и интрузивными комплексами верхнепермского возраста (диориты, габбро-диориты, габброиды).

Мощность аллювия р. М. Нестеровка колеблется от 3,0 до 6,0 м. В разрезе рыхлых отложений можно выделить 3 слоя: 1) верхний — супеси, суглинки коричневого, буровато-серого цвета, фациально

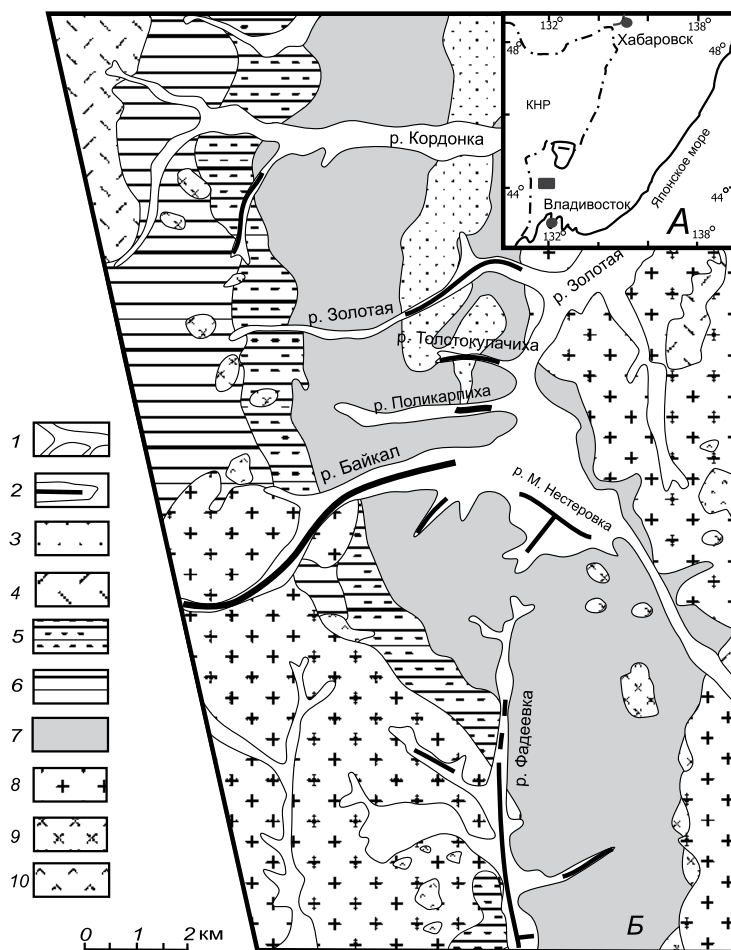


Рис. 1. Схема геологического строения Фадеевского рудно-россыпного узла [1, 2]: А — местоположение изученной площади; Б — 1 — четвертичные аллювиальные отложения; 2 — золотоносные россыпи; 3 — глины, песчаные глины, галечники, (N_1); 4 — риолиты, дациты и их туфы, (P_2br); 5 — алевролиты, аргиллиты, углестые сланцы, редкие прослои песчаников, кремней, умеренно-кислых вулканитов ($P_{1-2}rs_2$); 6 — переслаивание песчаников, алевролитов и аргиллитов ($P_{1-2}rs_1$); 7 — базальт-кремнисто-туфогенные, кремнисто-глинистые, туфогенно-песчаные отложения (S_{1-2}); 8 — гранитоиды (γP_2); 9–10 — штоки: 9 — диоритовых порфири-тов, диоритов, габбро ($\sigma\delta P_2$); 10 — сиенитов и сиенит-порфири-тов (ϵP_2)

Fig. 1. Geological sketch map of the Fadeyevka ore-placer cluster [1, 2]: А — Location of the study area; Б — 1 — Quaternary alluvial deposits; 2 — Auriferous placers; 3 — Clays, sandy clays, gravels (N_1); 4 — Rhyolites, dacites, and their tuffs (P_2br); 5 — Siltstones, argillites, carbonaceous shales with rare interbeds of sandstones, cherts, moderately acidic volcanics ($P_{1-2}rs_2$); 6 — Alternation of sandstones, siltstones and argillites ($P_{1-2}rs_1$); 7 — Basalt-chert-tuffaceous, siliceous-argillaceous, tuffaceous-sandy deposits (S_{1-2}); 8 — Granitoids (γP_2); 9–10 — Stocks: 9 — Dioritic porphyrites, diorites, gabbro ($\sigma\delta P_2$); 10 — Syenites and syenite-porphyrines (ϵP_2)

замещающиеся темно-серым алевропилитом, включающим слаборазложившиеся растительные остатки, линзы и прослои гравийно-супесчаного материала; мощностью до 2 м; 2) средний — хорошо выдержанный по мощности и по простираению слой валунно-галечно-галечных отложений с супесчаным заполнителем серого, коричневатого-серого цвета; отложения обводнены, слабо связаны, обломочный материал преимущественно средней

окатанности; мощность 1–3 м; 3) предплотиковый слой, отличающийся повышенным содержанием глинистой фракции, представлен валунно-галечными отложениями, связанными суглинком с примесью грубо окатанного обломочного материала; отложения слабо обводнены; цвет коричневый, коричневатого-серый до серовато-желтого; мощность 0,5–1,5 м. Золотоносный пласт четко выражен, приурочен к основанию аллювия

и верхней части плотика, его мощность варьирует от 0,4 до 2,0 м. Ширина россыпи изменяется от 20 до 180 м (в среднем 85 м).

Тяжелая фракция россыпи (шлих) является концентратором химически и механически устойчивых минералов и служит ключевым объектом для решения задач металлогенического анализа и прогноза коренных проявлений на изучаемой россыпи [7, 9]. Основной минералого-геохимический интерес представляет комплексный состав шлихов россыпи р. М. Нестеровка, в которой, согласно предварительным данным, присутствуют минералы, относящиеся к разным генетическим типам благороднометалльной минерализации. Состав самородного золота является прямым индикатором условий его образования в коренных источниках, однако в гипергенных условиях россыпеобразования, оно может претерпевать значительные изменения под воздействием химических, биохимических и сорбционных процессов [13]. Применение современных методов микроанализа, таких как растровая электронная микроскопия с энергодисперсионной спектроскопией (SEM-EDS), позволяет с высокой точностью определять элементный состав отдельных зерен, выявлять микропримеси и диагностировать поверхностные образования, невидимые при оптическом изучении.

Целью данной работы является минералого-геохимическая характеристика самородного золота и их минералов-спутников в магнитной, электромагнитной и тяжелой фракциях россыпи р. М. Нестеровка на основе данных микрозондового анализа и сканирующей электронной микроскопии для реконструкции возможных типов коренных источников питания и последующих постседиментационных процессов, происходящих в россыпной системе.

Методы исследования

Исследования проведены на материале шлиховых проб, отобранных одним из соавторов статьи (Медведевым Е.И.) в ходе работ участковым геологом в ООО «Якком» на россыпи р. М. Нестеровка. Отбор и обработка проб осуществлялись по стандартной методике шлихового опробования [4]. Исходные пробы отмывались на лотке, после чего проводилось разделение концентратов с использованием магнитной и электромагнитной сепарации на три фракции: магнитную, электромагнитную и немагнитную. Первичный минералогический контроль проводился под бинокулярными микроскопами МБС-10 и Nikon SMZ 465. Для детального микрохимического исследования методом

SEM-EDS были отобраны индивидуальные зерна золота, сульфидов и других минералов — спутников благородных металлов. Анализ выполнялся в ЦКП ДВГИ ДВО РАН на микрорентгеноспектральном анализаторе JXA-8100 (Jeol) и сканирующем электронном микроскопе Carl Zeiss EVO 50 XVP с энергодисперсионным спектрометром INCA Energy 350. Всего выполнено более 100 микрозондовых и 200 полуколичественных анализов для более чем 50 зерен золота и 80 сопутствующих минералов. Количественная обработка включала ZAF-коррекцию и пересчет в атомные пропорции для расчета структурных коэффициентов хромитов (Cr#).

Результаты и обсуждение

Золото россыпи р. Малая Нестеровка характеризуется широким диапазоном размеров и морфологических типов. Преобладают фракции 0,25–0,5 и 0,5–1,0 мм, на которые суммарно приходится около 75 мас.% золотин (рис. 2). По морфологии выделяются три группы:

1) окатанные комковидные зерна со следами длительного переноса: сглаженными формами и многочисленными микроударными структурами на поверхности;

2) пластинчатые зерна со средней степенью окатанности и загнутыми краями, часто образующие сростки различного размера. Их форма обусловлена как внутренней кристаллографической ориентировкой, так и механической деформацией в процессе транспортировки;

3) ажурные («дендритовидные») зерна, вероятно, близкие к рудному (мало транспортированному) облику. Их сложная форма может указывать на кристаллизацию в условиях быстрого пересыщения или агрегацию наночастиц золота в гипергенных условиях [11]. Поверхность золотин обычно неровная, ямчатая, часто покрыта тонкими пленками гидроокислов железа, глинистых и углеродистых минералов, заполняющих микрокаверны, трещины и неровности рельефа (рис. 3).

Геохимические типы самородного золота

Применение микрозондового анализа позволило установить, что основная примесь в золоте — это серебро. Присутствует ртутистое золото с содержанием ртути от 1 до 5 мас.%. Необычно присутствие для изучаемой россыпи золота с примесью ртути (до Hg — 9,7 мас.%), в котором полностью отсутствует серебро, встречаются знаки золота с примесью меди, но ее примесь в целом незначительна и колеблется от 0,2 до 0,8 мас.%. Помимо этого,

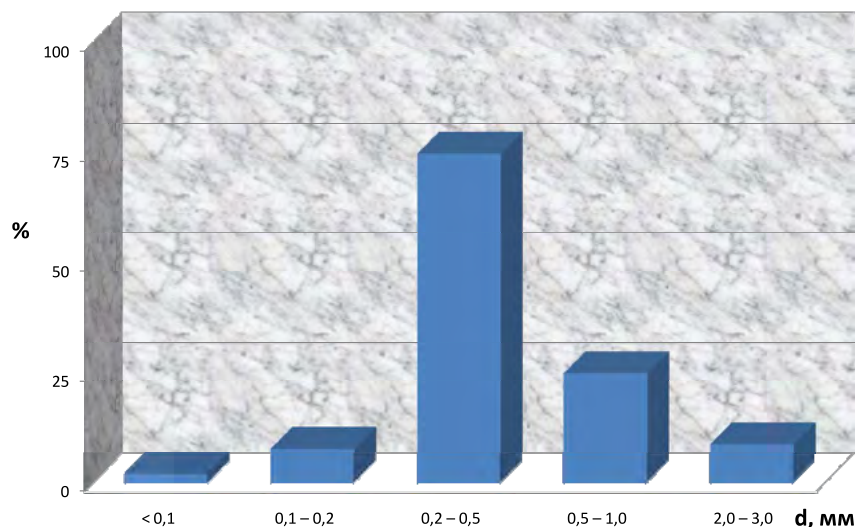


Рис. 2. Гранулометрический состав самородного золота россыпи р. Малая Нестеровка
Fig. 2. Granulometric composition of native gold from the Malaya Nesterovka River placer

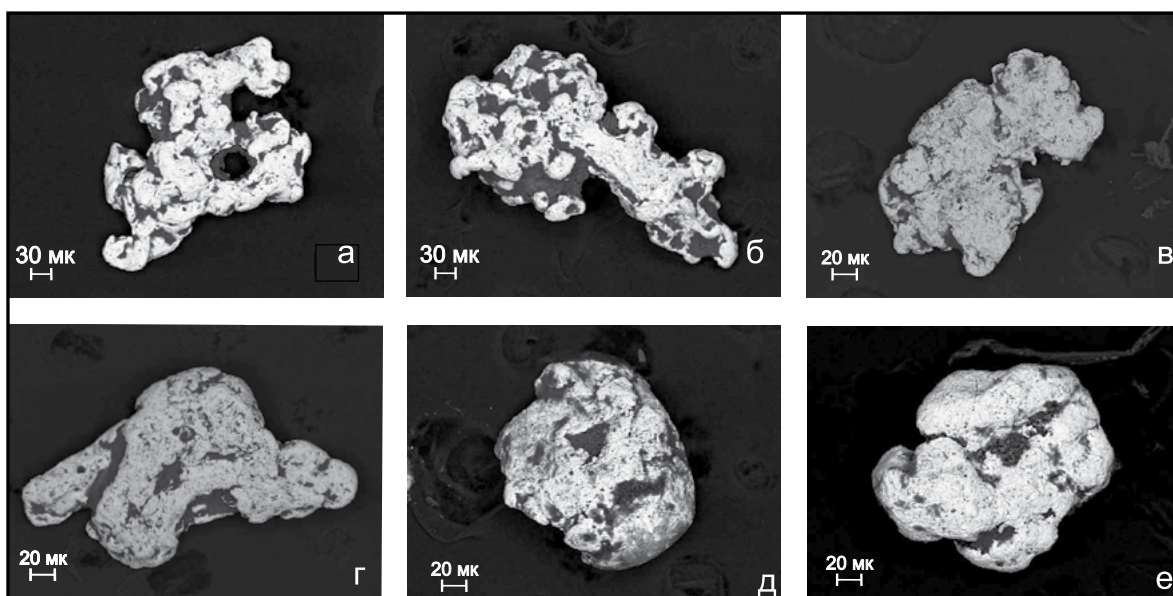


Рис. 3. SEM-изображение поверхности зерен золота: а, б — ажурные («дендритовидные») зерна, близкие к рудному золоту; в, г — пластинчатые знаки золота с загнутыми краями; д, е — комковидные окатанные зерна со следами переноса, покрытые органоминеральной пленкой и с включениями глинистых минералов
Fig. 3. SEM images of gold grain surfaces: а, б — lacy (dendritic) grains resembling primary (lode) gold; в, г — flaky gold particles with jagged edges; д, е — lumpy, rounded grains with signs of transport, coated by an organomineral film and containing inclusions of clay minerals

необычным является появление знаков золота, отобранных из плотика россыпи, в котором встречается примесь рубидия (Rb до 1,5 мас.%) и урана (U — 1,98 мас.%). Во всех анализах золота присутствует

повышенное содержание С и О и сопутствующих элементов: Al, Fe, N и Cl. Это указывает на формирование на поверхности золотин вторичных органо-минеральных и/или углеродных пленок.

Таблица 1. Характеристика геохимических типов самородного золота россыпи р. Малая Нестеровка
Table 1. Characteristics of the geochemical types of native gold from the Malaya Nesterovka River placer

Параметр, мас. %	Тип I: Высокопробное	Тип II: Уран-рубидиевое	Тип III: Ртутьсодержащее	Тип IV: Углеродистое
Au	95,32–98,02	84,06–91,89	75,68–90,11	79,27–91,89
Ag	1,98–4,72	2,67–5,09	2,67–7,90	1,04–8,02
Hg	–	–	3,36–9,70	–
U	–	До 1,98	–	–
Rb	–	1,07–1,37	–	–
C	2,96–7,35	4,47–9,52	5,28–14,52	3,79–12,29
O	1,05–2,82	2,78–3,65	1,26–11,51	1,28–12,68

Анализ зерен золота выявил значительную вариацию составов золота и серебра и наличие аномальных (нехарактерных) микропримесей U, Rb, Hg, Си и т.д., а также сопутствующих им минералов-спутников, описание которых приводится ниже. Это позволило в соответствии с классификацией Н.В. Петровской [5] выделить четыре геохимических типа золота (табл. 1).

Тип I — высокопробное. Преобладающий тип золотой минерализации с низким содержанием серебра, что характерно для золота метаморфогенных или глубинных магматогенных гидротермальных систем, бедных серебром, таких как золото-кварцевая формация [3]. В целом его состав соответствует золоту из коренных месторождений, связанных с процессами регионального метаморфизма или гранитным магматизмом.

Тип II — уран-рубидиевое. Уникальная ассоциация, имеющая важное прогнозно-поисковое значение. Присутствие урана является прямым указанием на пространственную и генетическую связь с урановой минерализацией. Аналоги золота с ураном известны в золото-урановых конгломератах Витватерсранда и некоторых гидротермальных месторождениях в кислых породах [10]. Примесь рубидия — крайне редкое явление для самородного золота. Рубидий может быть, как захвачен золотом в условиях интенсивного калиевого метасоматоза (березитизация), так и быть связанным с флюидами специализированных щелочных магматических комплексов. Данный тип золота указывает на возможное существование в области сноса уникальной золото-уран-редкометалльной минерализации.

Тип III — ртутьсодержащее. Присутствие ртути может быть как первичным признаком низкотемпературного золото-ртутного или золото-сурьмяно-ртутного оруденения [4], так

и результатом вторичного гипергенного обогащения. Равномерное распределение Hg (~3,36 мас.%) в объеме зерен может указывать на сингенетическую примесь. В то же время обогащение ртутью до 9,70 мас.%, особенно в краевых частях зерен, является классическим признаком гипергенного осаждения ртути на золото в россыпной среде. Особый интерес представляет золото, в котором ртуть присутствует при полном отсутствии серебра, что может указывать на специфические условия формирования — глубинные углеродитые флюиды [1, 2].

Тип IV — углеродистое. Повышенные содержания C и O, а также сопутствующих Al, Fe, N и Cl связаны не с внутренней примесью, а с формированием на поверхности золотин вторичных адсорбционных пленок, содержащих органическое вещество (гуминовые кислоты) и глинистые минералы. Этот процесс сорбции широко распространен в органико-обогащенных отложениях и значительно влияет на миграцию и пассивацию золота в гипергенных условиях [13, 14]. Практически все изученные зерна в той или иной степени несут признаки такого поверхностного изменения.

Минералы-спутники благороднометалльной минерализации и их генетическая интерпретация

Хромшпинелиды — представлены в шлихе зернами субмикронного размера правильной — дипирамедальной и неправильной форм преимущественно темно-серого и до темно-зеленого цвета. Согласно данным микрозондового анализа выделяются два принципиально различных типа хромитов (табл. 2). Тип 1 «богатый»: Cr_2O_3 до 47,4 мас.%, MnO ~13,7 мас.%, $\text{Cr}\# = 0,99$. Высокое содержание марганца и ванадия, а также экстремально высокий коэффициент $\text{Cr}\#$ являются типоморфными признаками хромшпинелидов

Таблица 2. Состав хромшпинелидов россыпи р. М. Нестеровка (мас.%)
Table 2. Composition of chromian spinels from the M. Nesterovka River placer (wt.%)

Оксид	Тип 1	Тип 1	Тип 2
Cr ₂ O ₃	44,96	47,40	27,51
FeO	1,66	3,68	0,37
MnO	13,68	13,22	8,20
TiO ₂	1,83	1,60	4,13
Al ₂ O ₃	0,50	0,53	1,42
SiO ₂	4,96	3,25	18,51
Cr#	0,99	0,99	0,95

из высокодифференцированных дунитов офиолитовых ассоциаций или расслоенных интрузий. Тип 2 «обедненный»: пониженное содержание Cr₂O₃ (27,5 мас.%), высокое SiO₂ (18,5 мас.%), Cr# = 0,95. Является продуктом глубокого гипергенного преобразования первичных хромитов в коре выветривания с активным выносом Al и Mg и привносом кремнезема. Экстремально высокие значения Cr# (0,95–0,99) указывают на формирование первичных хромитов в высокодифференцированных ультраосновных породах (дунитах), подвергшихся интенсивному метасоматозу. Это однозначное указание на мантийный, ультраосновной источник [15].

Платиноиды и бадделит

В шлихах тяжелой фракции обнаружен минерал платиновой группы состава Pt — 53,97 мас.%, As — 41,26 мас.%, Te — 0,72 мас.% S — 0,26 мас.% — сперрилит (PtAs₂): присутствие в нем микропримесей Te и S подтверждает его магмогенную природу и связь с сульфидными расплавами ультраосновных-основных комплексов [2, 8]. Сперрилит является главным минералом платины в дунитах и хромититах.

Циркониевые минералы. В тяжелой фракции идентифицирован редкий аксессуарный минерал бадделит (ZrO₂) — его железистая разновидность (ферробадделит) имеет состав: Zr — 54,94 мас.%, O — 38,63 мас.%, Fe — 6,87 мас.%, где железо изоморфно замещает цирконий в кристаллической решетке. Стабильность бадделита, а не циркона (ZrSiO₄) однозначно указывает на кристаллизацию из кремнезем-недосыщенного расплава, что характерно исключительно для ультраосновных-основных пород [12]. Помимо этого, рассчитанный для хромитов коэффициент хромистости

(Cr# = Cr / (Cr + Al)) составляет 0,99 для первичных разновидностей (табл. 1). Столь высокие значения Cr# характерны для хромшпинелидов из дунитов, сформировавшихся в условиях высоких степеней плавления мантийного вещества, и являются типоморфным признаком офиолитовых ассоциаций или дифференцированных расслоенных интрузий. В сочетании с находками сперрилита и бадделита данный парагенезис однозначно указывает на наличие в области питания россыпи ультраосновного-основного магматического комплекса, перспективного на платиноиды и хромиты [2, 12, 15].

Сульфиды

Присутствие неизменных зерен борнита (Cu — 75,75 мас.%, Fe — 9,44 мас.%, S — 14,82 мас.%) и пирротина (Fe — 43,03 мас.%, S — 48,47 мас.%) и их совместное нахождение указывает на наличие в области сноса высоко- и/или среднетемпературного рудного объекта, вероятно, скарнового или медно-порфирового типа. Сохранность химически неустойчивого в гипергенных условиях борнита является важным поисковым признаком, определяющим расстояние транспортировки первыми километрами, и свидетельствует о близости коренного высоко- и/или среднетемпературного источника [3, 9].

На основе комплексного анализа данных предложена возможная модель формирования россыпи за счет размыва нескольких полигенных источников: Ультраосновной-основной магматический комплекс (расслоенная интрузия или офиолитовый аллохтон?). Среднетемпературная золото-кварцевая гидротермальная система — источник высокопробного золота (тип I), характерного для многих месторождений Сихотэ-Алиня. Низкотемпературная золото-ртутная

(сурьмяно-ртутная) минерализация. Источник ртутистого золота (тип III). Наличие таких проявлений согласуется с общей металлогенической специализацией региона [6]. Специализированная золото-уран-редкометалльная формация. Уникальный источник золота с примесями U и Rb (тип II), ранее неизвестный в районе исследования. Его выявление представляет значительный научный и поисковый интерес.

Заключение

Россыпь р. Малая Нестеровка характеризуется комплексным полимиктовым составом тяжелой фракции, указывающим на множественные источники питания. На основе микрозондового анализа выделены четыре геохимических типа самородного золота: высокопробное, уран-рубидиевое,

ртутьсодержащее и углеродистое. Выявление золота с содержанием U и Rb свидетельствует о наличии в регионе ранее неизвестной золото-уран-редкометалльной минерализации. Обнаружение ассоциации сперрилит + высокохромистый шпинелид ($Cr\# = 0,99$) + бадделейт является неоспоримым доказательством размыва ультраосновного основного магматического массива, вероятно, расслоенной интрузии. Широкое развитие органо-минеральных пленок на золоте и гипергенно измененных хромитов отражает активность постседиментационных процессов в россыпи. Близость коренных источников подтверждается сохранностью неустойчивых сульфидов (борнит) и определяет высокие перспективы выявления первичного оруденения в непосредственной близости от россыпи р. М. Нестеровка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Медведев Е.И., Молчанов В.П. Амальгама золота и ее минералы спутники (Дальний Восток, Приморье). Фундаментальные исследования. 2013. № 11–5. С. 958–963.
2. Молчанов В.П., Фэнгуи С. Платиноидно-золотые россыпи из углеродсодержащих пород сопредельных территорий юга дальнего востока России и северо-востока Китая: особенности состава, размещения и происхождения. Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2018. № 3. с. 11–18.
3. Моисеенко В.Г., Кузнецова И.В. Геохимическое сродство Au, U, и Th. Доклады Академии Наук. 2013. Т. 450. № 1. С. 335.
4. Патык-Кара Н.Г. Минерогения россыпей: типы россыпных провинций. М.: ИГЕМ РАН, 2008. 528 с.
5. Петровская Н.В. Самородное золото. М.: Наука. 1973. 347 с.
6. Ханчук А.И. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2 кн. Под ред. А.И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука, 2006. 680 с.
7. Alam, M., Li, S.R., Santosh, M., Yuan, M.W. Morphology and chemistry of placer gold in the Bagrote and Daintier streams, northern Pakistan: Implications for provenance and exploration. Geological Journal. 2019. No. 54. P. 1672–1687
8. Barkov A.Y., Tolstykh N.D., Nikiforov A.A., Martin R.F. The platinum-group minerals of the river Ko watershed, Sisim placer zone, Eastern Sayans, Russia, and the differentiation of multicomponent melts. The Canadian Journal of Mineralogy and Petrology. 2023. Vol. 61. No. 4. P. 805–824.
9. Craw D., Youngson J.H., Leckie D.A. Transport and concentration of detrital gold in foreland. Ore Geology Reviews. 2006. Vol. 28. No. 4. P. 417–430.
10. Fuchs S.S., Williams-Jones D., Murray A.E., Couillard A.J., et al. Gold and uranium concentration by interaction of immiscible fluids (hydrothermal and hydrocarbon) in the Carbon Leader Reef, Witwatersrand Supergroup, South Africa. Precambrian Research. 2017. Vol. 293. P. 39–55.
11. Large R.R., Gregory D.D., Steadman J.A., et al. Gold in the oceans through time. Earth and Planetary Science Letters. 2015. Vol. 428. P. 139–150.
12. Okrugin A., Gerasimov B. Paragenetic association of platinum and gold minerals in placers of the Anabar river in the Northeast of the Siberian platform. Minerals. 2023. Vol. 13. No. 1. C. 1–13.
13. Reith F., et al. Biogeochemical cycling of gold: Transforming gold particles from arctic Finland. Chemical Geology. 2018. Vol. 483. P. 511–529.
14. Townley B.K., Herail G., Maksaev V., Palacios C., Parseval P., Sepulveda F., Orellana R., Rivas P., Ulloa C. Gold grain morphology and composition as an exploration tool: application to gold exploration in covered areas. Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis. 2003. Vol. 3. P. 29–38.
15. Yudovskaya M.A., Kinnaird J.A., Abramova V.D., Grobler D.F., Dunnett T., Costin G., Barnes S.J. Zonation of Merensky-style platinum-group element mineralization in turfspruit thick reef facies (Northern limb of the Bushveld complex). Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists. 2017. Vol. 112. No. 6. P. 1333–1365.

REFERENCE

1. Medvedev E.I., Molchanov V.P. Gold amalgam and its associated minerals (Far East, Primorye). *Fundamental Research*. 2013. No. 11–5. P. 958–963 (In Russ.).
2. Molchanov V.P., Fenggui S. Platinum-gold placers from carbon-bearing rocks of the adjacent territories of the southern Russian Far East and northeastern China: features of composition, location and origin. *Bulletin of the North-East Scientific Center, Russia Academy of Sciences Far East Branch*. 2018. No. 3. P. 11–18 (In Russ.).
3. Moiseenko V.G., Kuznetsova I.V. Geochemical relationship between Au, U, and Th // *Doklady Earth Sciences*. 2013. T. 450. № 1. C. 562–565
4. Patyk-Kara N.G. *Modern Methods of Placer Prediction*. Moscow: Nauka, 2010. 345 p. (In Russ.).
5. Petrovskaya N.V. *Native Gold*. Moscow: Nauka, 1973. 347 p. (In Russ.).
6. Khanchuk A.I. *Geodynamics, Magmatism and Metallogeny of the Russian East: in 2 books*. Ed. A.I. Khanchuk. Vladivostok: Dal'nauka, 2006. 680 p. (In Russ.).
7. Alam, M., Li, S.R., Santosh, M., Yuan, M.W. Morphology and chemistry of placer gold in the Bagrote and Dainter streams, northern Pakistan: Implications for provenance and exploration. *Geological Journal*. 2019. No. 54. P. 1672–1687
8. Barkov A.Y., Tolstykh N.D., Nikiforov A.A., Martin R.F. The platinum-group minerals of the river Ko watershed, Sisim placer zone, Eastern Sayans, Russia, and the differentiation of multicomponent melts. *The Canadian Journal of Mineralogy and Petrology*. 2023. Vol. 61. No. 4. P. 805–824.
9. Craw D., Youngson J.H., Leckie D.A. Transport and concentration of detrital gold in foreland. *Ore Geology Reviews*. 2006. Vol. 28. No. 4. P. 417–430.
10. Fuchs S.S., Williams-Jones D., Murray A.E., Couillard A.J., et al. Gold and uranium concentration by interaction of immiscible fluids (hydrothermal and hydrocarbon) in the Carbon Leader Reef, Witwatersrand Supergroup, South Africa. *Precambrian Research*. 2017. Vol. 293. P. 39–55.
11. Large R.R., Gregory D.D., Steadman J.A., et al. Gold in the oceans through time. *Earth and Planetary Science Letters*. 2015. Vol. 428. P. 139–150.
12. Okrugin A., Gerasimov B. Paragenetic association of platinum and gold minerals in placers of the Anabar river in the Northeast of the Siberian platform. *Minerals*. 2023. Vol. 13. No. 1. C. 1–13.
13. Reith F., et al. Biogeochemical cycling of gold: Transforming gold particles from arctic Finland. *Chemical Geology*. 2018. Vol. 483. P. 511–529.
14. Townley B.K., Herail G., Maksaev V., Palacios C., Parseval P., Sepulveda F., Orellana R., Rivas P., Ulloa C. Gold grain morphology and composition as an exploration tool: application to gold exploration in covered areas. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*. 2003. Vol. 3. P. 29–38.
15. Yudovskaya M.A., Kinnaird J.A., Abramova V.D., Grobler D.F., Dunnett T., Costin G., Barnes S.J. Zonation of Merensky-style platinum-group element mineralization in turfspruit thick reef facies (Northern limb of the Bushveld complex). *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists*. 2017. Vol. 112. No. 6. P. 1333–1365.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Медведев Е.И. — работая на данной территории, собрал полевой каменный материал для статьи, разработал концепцию статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Ивин В.В. — подготовил аналитические данные статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Evgeniy I. Medvedev — while working in this area, collected field rock material for the article, developed the article concept, prepared the article text, gave final approval to the published version, and agrees to accept responsibility for all aspects of the work.

Vitaliy V. Ivin — developed the article concept, prepared the article's analytical data, gave final approval to the published version, and agrees to accept responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Медведев Евгений Иванович* — научный сотрудник ФГБУН «Дальневосточный геологический институт» Дальневосточного отделения Российской академии наук.

159, пр-т 100-летия Владивостока, Владивосток, 690022, Россия

e-mail: Cage21@mail.ru

тел.: +7 (924) 232-05-52

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1791-2017>

Evgenii I. Medvedev* — Researcher, Far East Geological Institute Far East Branch Russian academy of science.

159, 100-years Vladivostok ave., 690022, Vladivostok, 690022, Russia

e-mail: Cage21@mail.ru

tel.: +7 (924) 232-05-52

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1791-2017>

Ивин Виталий Викторович — кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией нелинейной металлогении ФГБУН «Дальневосточный геологический институт» Дальневосточного отделения Российской академии наук.

159, пр-т 100-летия Владивостока, Владивосток, 690022, Россия

e-mail: ivin_vv@mail.ru

тел.: +7 (924) 232-05-52

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7673-0099>

Vitaliy V. Ivin — Cand. Sci. (Geol.-Mineral.), Head of the Laboratory, Laboratory of Nonlinear Metallogeny, Far East Geological Institute Far East Branch Russian academy of science.

159, 100-years Vladivostok ave., 690022, Vladivostok, 690022, Russia

e-mail: ivin_vv@mail.ru

tel.: +7 (924) 232-05-52

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7673-0099>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author