



УДК 553.411 (023.11)

DOI: 10.35597/2313-545X-2024-10-1-3

## ТИПИЗАЦИЯ ЗОЛОТА РОССЫПЕЙ АМЫЛО-СИСТИГХЕМСКОГО РУДНО-РОССЫПНОГО РАЙОНА, ЗАПАДНЫЙ САЯН

Ч.М. Хертек<sup>1</sup>, А.М. Сазонов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН,  
ул. Интернациональная 117, Кызыл, 667007 Россия; chayana83@mail.ru

<sup>2</sup> Сибирский федеральный университет, пр. Свободный 79, г. Красноярск, 660041 Россия; Sazonov\_am@mail.ru

Статья поступила в редакцию 29.11.2023 г., после доработки 30.01.2024 г., принята к печати 11.03.2024 г.

**Аннотация.** Золото из семи россыпей Амыло-Систигхемского рудно-россыпного района (Республика Тыва, Красноярский край) систематизировано на основании типоморфных особенностей частиц и их химического состава, изученных с помощью оптической и электронной микроскопии. По химическому составу золото подразделяется на Ag-Au, Hg-Ag-Au и Cu-Ag-Au типы. Установлены неокатанные и окатанные частицы, как с высокопробной каймой, так и без нее. По сочетанию типоморфных признаков выявлено 17 разновидностей золота, характеризующих минералого-геохимические типы коренных руд, дальность переноса кластогенного материала, степень механогенной и кристаллофизической деформированности частиц и длительность нахождения частиц в золотоносном пласте в условиях относительного покоя. Проведенная типизация россыпного золота в россыпях может использоваться при планировании тематических предпроектных и поисково-оценочных работ в районе, а методические приемы – в других золото-россыпных районах.

**Ключевые слова:** россыпь, россыпное золото, типоморфизм, структурно-морфологические разновидности, пробность золота, классификация, электронная микроскопия, коренной источник.

**Благодарности.** Авторы признательны С.Г. Прудникову и Р.В. Кужугету за всестороннюю помощь и поддержке исследований, С.А. Сильянову, Б.М. Лобастову и Н.В. Нелюбину за помощь в изготовлении препаратов и исследовании состава и строения частиц самородного золота на электронном микроскопе. Авторы выражают благодарность Р.С. Паламарчуку и редакторам журнала за высказанные замечания и советы при окончательном редактировании статьи.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанных с рукописью.

**Вклад авторов.** Ч.М. Хертек, А.М. Сазонов – разработка концепции, исследование, написание черновика рукописи; А.М. Сазонов, Ч.М. Хертек – визуализация, редактирование финального варианта рукописи. Все авторы одобрили финальную версию статьи перед публикацией.

**Для цитирования:** Хертек Ч.М., Сазонов А.М. Типизация золота россыпей Амыло-Систигхемского рудно-россыпного района, Западный Саян. Минералогия, 10 (1), 32–53. DOI: 10.35597/2313-545X-2024-10-1-3.

## TYPES OF GOLD PLACERS OF THE AMYL-SISTIGKHEM PLACER REGION, WEST SAYAN

Ch.M. Khertek<sup>1</sup>, A.M. Sazonov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Tuvinian Institute for Exploration of Natural Resources SB RAS,  
ul. Internatsionalnaya 117, Kyzyl, 667007 Russia; chayana83@mail.ru

<sup>2</sup> Siberian Federal University, pr. Svobodny 79, Krasnoyarsk, 660041 Russia; Sazonov\_am@mail.ru

Received 29.11.2023, revised 30.01.2024, accepted 11.03.2024

**Abstract.** Native gold from seven placers of the Amyl-Sistighem ore placer region (the Republic of Tyva, Krasnoyarsk region) is classified on the basis of its structure, morphology and chemical composition,

which are studied by optical and electronic microscopy. Three chemical types of native gold are identified: Ag-Au, Hg-Ag-Au, Cu-Ag-Au. There are rounded and angular particles with and without a high-fineness rim. Seventeen types of native gold are established on the basis of combination of various characteristics. These varieties characterize the mineralogical-geochemical types of primary ores, the distance of the transportation of clastic material, the degree of mechanogenic and crystallophysical deformations of gold particles, and the duration of their occurrence in a gold-bearing layer under relatively calm conditions. Our results can be used in planning thematic pre-project and prospecting-assessing work at this territory, whereas methodological issues can be applied in other gold placer areas.

**Keywords:** placer, placer gold, typomorphism, structural-morphological varieties, gold fineness, classification, electron microscopy, primary source.

**Acknowledgements.** The authors are grateful to S.G. Prudnikov and R.V. Kuzhuget for thorough help and support of studies and S.A. Sil'yanov, B.M. Lobastov and N.V. Nelyubin for help in preparation of samples and electron microscopic studies of gold particles. We also acknowledge Reviewer R.S. Palamarchuk and Editors of Mineralogy for their comments and advices during the final editing of the manuscript.

**Conflict of interest.** The authors declare that they have no conflicts of interest.

**Author contribution.** Ch.M. Khertek, A.M. Sazonov – conceptualization, investigation, writing – original draft; A.M. Sazonov, Ch.M. Khertek – visualization, writing – review & editing. All the authors approved the final version of the manuscript prior to publication.

**For citation:** Khertek Ch.M., Sazonov A.M. Types of gold placers of the Amyl-Sistighem placer region, West Sayan. Mineralogy, 10 (1), 32–53. DOI: 10.35597/2313-545X-2024-10-1-3.

## ВВЕДЕНИЕ

Россыпные месторождения золота Амыло-Систигхемского рудно-россыпного района (Республика Тыва, Красноярский край) известны с 1838 г. и периодически активно разрабатывались. Несмотря на важность учета типоморфных особенностей россыпного золота (в том числе его химического состава) при поисках россыпей и коренных проявлений, их начали активно изучать только с середины XX в. Типоморфные особенности золота россыпей широко используются при металлогеническом анализе территорий, генетических построениях, прогнозных и поисково-оценочных работах (Петровская, 1973; Нестеренко, 1991; Nakagawa et al., 2005; Лаломов и др., 2015; Craw et al., 2016; Kerr et al., 2017; Неволько и др., 2019; Никифорова и др., 2020; Goryachev et al., 2020).

Состав золоторудно-россыпных районов Республики Тывы, и в том числе Амыло-Систигхемского района, хорошо изучен. Некоторые материалы частично опубликованы С.Г. Прудниковым с соавторами (2003–2022) и приведены в фондовых отчетах (Григорьева и др., 1969ф; Кильчичаков и др., 1986ф; Кальниченко, 1972; Фельдбарг, Захарова, 1980ф; Русанов, 1987ф; Макиянский и др., 1991ф), в которых отмечается разнообразие гранулометрии, степени окатанности, морфологии частиц и пробности золота в коренных и россыпных объектах. Так, пробность коренного золота Октябрьского ме-

сторождения составляет 877–933 ‰ (Тюкпиеков, 2013ф). Пробность россыпного золота из рр. Бол. и Мал. Алгиякам составляет 820–880 ‰ (Кальниченко, 1972), тогда как (Русанов, 1987ф) приводит более широкий диапазон – 832–955 ‰.

Наибольший разброс пробности установлен для золота из россыпей рр. Чёрной – 870, 880, 930, 940 и 950 ‰ (Кильчичаков и др., 1986ф) и Бол. и Мал. Билелигам – от 853 до 994 ‰ (Макиянский и др., 1991ф). К.М. Кильчичаков и др. (1986ф) отмечал площадное изменение гранулометрии, окатанности и пробности золота в Амыло-Систигхемском рудно-россыпном районе, например, увеличение пробности золота из россыпей долин от р. Бол. Алгияка (850–880 ‰) к рр. Билелиг (897 ‰), Мал. Алгияк (918 ‰) и Чёрной (820–950 ‰). Высокая пробность золота отмечена в россыпи р. Кундусуг – 940–960 ‰ (Кильчичаков и др., 1986ф). Эти особенности золота связывают с различными источниками и наличием неизвестных коренных проявлений, питающих россыпи (Склярков, 1982; Берзон, 1983ф). Л.А. Николаева (Кальниченко, 1972) считала, что россыпи долин рр. Билелиг, Алгияк и, особенно, Чёрной образовались не только за счет кварцевых жил, но и в результате переотложения золота из более древних россыпей. Кальниченко (1972) высказал предположение, что источником питания россыпи р. Чёрной могут быть ордовикские конгломераты. Основанием для этого предположения явилось отсутствие в бассейне р. Чёрной золотоносных кварцевых жил,

площадная золотоносность терригенных отложений ордовика, наличие шлихового золота в речных долинах (ключи Пласкин, Изыметский), целиком располагающихся в пределах ордовикских пород. Сопоставление пробности рудного и россыпного золота Амыло-Систигхемского района, выполненное нами, показало, что золото в коренных рудах Октябрьского месторождения и кварцевых свалах в долинах рр. Белелиг и Черная имеет пробность 600–699 ‰ (35 %) и 800–899 ‰ (57 %), в то время как, золото россыпей имеет преобладающую пробность от 900 до 999 ‰ (73 %) и среднюю пробность 800–899 ‰ (25 %) (Хертек, Сазонов, 2023). С.Г. Прудников (2004) изучил типоморфизм россыпного золота Амыло-Систигхемского рудно-россыпного района и сравнил его особенности с золотом других районов Республики Тывы. Им выделены разновидности золота широкого диапазона гранулометрии, морфологии, окатанности и пробности. На основании комплекса типоморфных свойств россыпного минерала сделаны генетические выводы и обоснованы закономерности их распределения в россыпях и коренных источниках (Прудников, Хертек, 2016, 2017, 2018, 2019а, 2019б).

Целью данной статьи является статистическая характеристика типоморфных свойств россыпного золота Амыло-Систигхемского района, его типизация, уточнение и дополнение полученных ранее аналитических данных и выводов предшественников и авторов настоящей статьи.

#### ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АМЫЛО-СИСТИГХЕМСКОГО РУДНО-РОССЫПНОГО РАЙОНА

Амыло-Систигхемский рудно-россыпной золотоносный район расположен на севере Республики Тывы в пограничной области Таннуольско-Хамсаринской и Северо-Саянской островодужных систем (Калинин и др., 2006; Лебедев, 2018; Гаськов, Прудников, 2022) (рис. 1). На западе территории распространены пара- и ортосланцы зеленосланцевой фации Амыло-Джебашской структурно-формационной подзоны (СФПЗ) Центрально-Саянской зоны (ЦС). Центральная часть района представлена Куртушибинским офиолитовым поясом, в состав которого входят толеитовые базальты и пикробазальты коярдской толщи, условно датируемой поздним рифеем, а также вендские толщи – существенно вулканогенная макаровская и преимущественно сланцевая орешская. Эффузивы

и субвулканические тела этих толщ объединены в макаровско-орешский базальт-андезит-риолитовый (иджимский) комплекс.

Макаровская толща сложена базальтами и их туфами, подчиненными им дацитами, риодацитами, риолитами, известняками, глинисто-кремнистыми и углеродисто-кремнистыми сланцами и кварцитами. Кислые вулканы составляют около 10 % мощности разреза (рр. Изинзюль–Черная). Нижняя граница толщи тектоническая – аккреционного причленения океанических структур Западного Саяна к окраинно-континентальным структурам Восточной Тывы. Макаровская толща является рудовмещающей для золото-кварцевых и золото-сульфидно-кварцевых проявлений и Октябрьского золото-кварцевого месторождения. Орешская толща состоит из чередующихся кварцитов и кремнисто-глинистых и углеродисто-кремнистых сланцев с редкими прослоями базальтов и их туфов, известняков, аргиллитов, алевролитов, песчаников и гравелитов. Граница с нижележащей макаровской толщей согласная и проводится по преобладанию в орешской толще осадочных пород над вулканиками.

Восточнее офиолитового пояса распространены отложения Хемчикско-Систигхемского преддугового коллизионного прогиба, представленные средне-верхнекембрийской флишоидной аласугской серией (иргитхемская, ончанская и чапшинская свиты) и ордовикской молассовой систигхемской серией (узинская, устьхамсаринская и кутарская свиты). Систигхемская серия выше по разрезу сменяется согласно залегающими нижнесилурийскими морскими красноцветными отложениями атчольской свиты. Силурийские отложения в пределах Хемчикско-Систигхемского прогиба представлены известково-песчаниковой семирбатской свитой, а в Куртушибинском офиолитовом поясе – конгломерато-песчаниковой федоровской свитой позднего силура, несогласно перекрывающей нижележащие толщи. Отложения раннего девона в Куртушибинском поясе представлены андезитами, базальтами и их туфами акдуругской свиты.

Плутонические и субвулканические образования от позднего рифея до девона распространены во всех СФПЗ. Наиболее древние магматические образования, предположительно, рифейского возраста представлены иджимским (акдувуракским) габбро-гипербазитовым комплексом, фрагменты которого развиты в меланжевом комплексе офиолитов.

Субвулканические тела раннекембрийского изинзюльского габбро-диорит-плагиогранитного



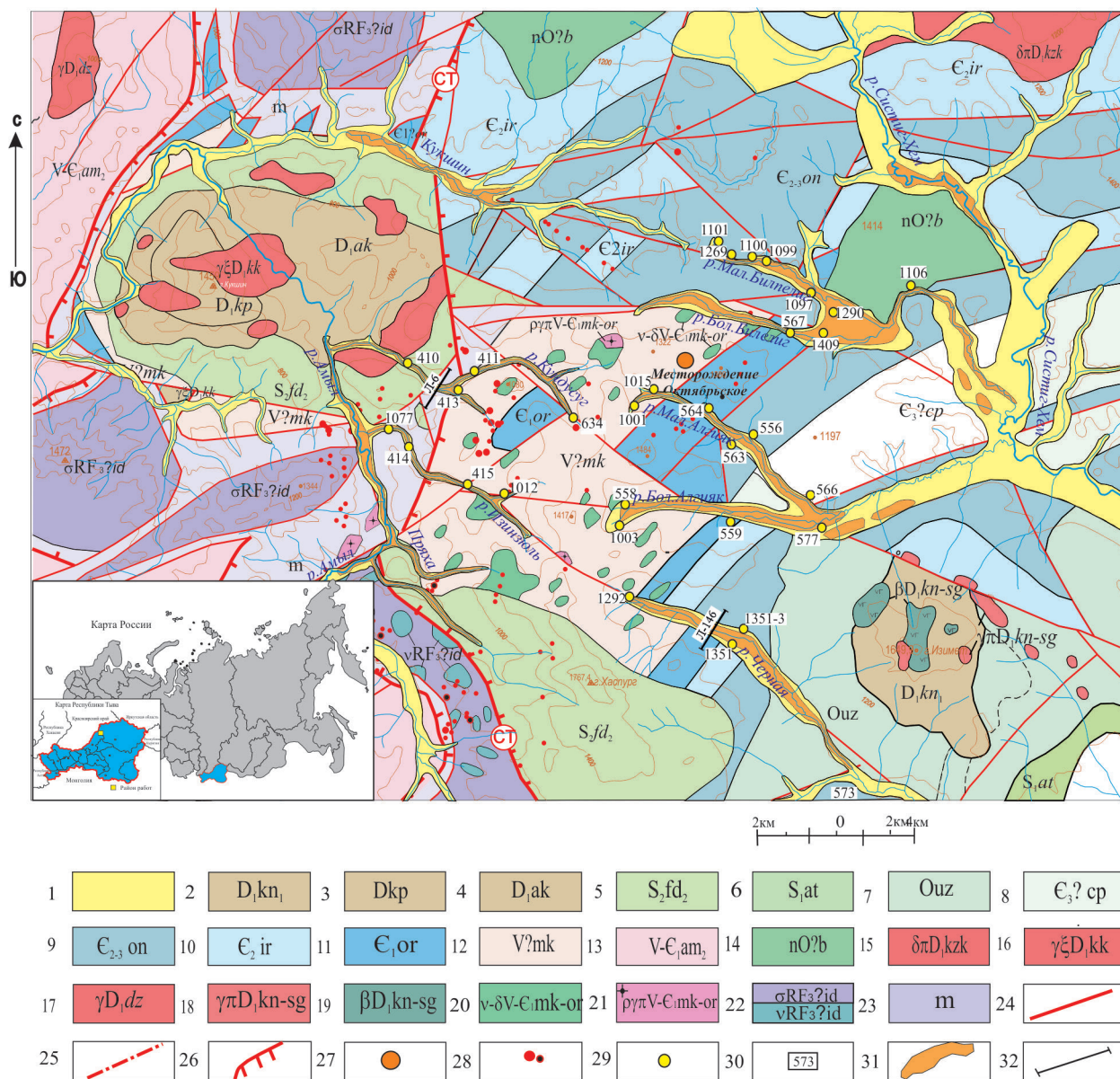


Рис. 1. Схема геологического строения Амыло-Систигхемского рудно-россыпного района по материалам (Попов и др., 1999ф).

1 – Четвертичные отложения; 2–4 – нижний девон: 2 – кендейская свита, нижняя подсвита, андезиты, базальты; 3 – купхольская свита, трахириолиты, трахидациты, их туфы; 4 – актуругская свита, андезиты, базальты, трахиандезиты, их туфы; 5, 6 – силур: 5 – федоровская свита, верхняя подсвита, конгломераты, гравелиты, песчаники, алевролиты; 6 – атчольская свита, песчаники, красноцветные алевролиты; 7 – ордовик (систигхемская серия), узинская свита, песчаники, конгломераты, гравелиты; 8–11 – кембрий: 8 – чапшинская свита, ритмичное чередование конгломератов, песчаников, алевролитов; 9 – ончанская свита, алевролиты, аргиллиты, алевропесчаники, линзы гравелитов, известняков; 10 – иргитхемская свита, агломератовые туфы, конгломераты, песчаники, гравелиты, линзы известняков; 11 – орешковая толща, глинисто-кремнистые и углеродисто-кремнистые сланцы, горизонты кварцитов, базальтов, их туфов, известняков (более 1280 м); 12, 13 – венд: 12 – макаровская толща, метабазальты, их туфы, кремнисто-глинистые сланцы, линзы известняков; 13 – амыльская свита, серицит-хлорит-альбит-кварцевые сланцы, линзы мраморов, метабазальтов; 14–22 – интрузивные породы: 14 – Систигхемская подзона, Булкинский расслоенный анортозит-габбровый комплекс, анортозиты, габбро, нориты, габбронориты, троктолиты, пироксениты; 15 – Кызыкчадрский габбро-норитовый комплекс, диориты, кварцевые диориты, габбро, габбродиориты; 16 – Куртушибинский офиолитовый пояс, Кукшинский сиенит-щелочногранитный комплекс, граносиениты; 17 – Джебашско-Амыльская подзона, Джойский гранитный комплекс, щелочные граниты; 18 – Кендейско-Саглинский базальт-риолитовый комплекс, гранит-порфиры, риолиты; 19 – базальты, микрогаббро; 20 – Макаровско-Орешкий базальт-андезит-риолитовый комплекс, микрогаббро, долери-

ты; 21 – плагиограниты, порфиры; 22 – Иджимский габбро-гипербазитовый комплекс, ультрабазитовая зона ( $\sigma$ ): гарцбургиты, дуниты, серпентиниты, серпентинизированные породы, габброидная зона ( $\nu$ ): габбро, габбронориты, дайки микрогаббро, долериты, базальты; 23 – тектонический меланж; 24, 25 – разломы: 24 – установленные; 25 – неустановленной морфологии; 26 – надвиги; 27 – месторождение Октябрьское ( $94^{\circ}35'30''$  в.д.,  $53^{\circ}05'$  с.ш.); 28 – точки золоторудной минерализации; 29 – точки наблюдения (т. н.); 30 – номера проб; 31 – россыпи; 32 – положение геологических разрезов.

*Fig. 1.* Scheme of geological structure of the Amyl-Sistigkhem ore placer region, after unpublished report of (Popov et al., 1999).

1 – Quaternary deposits; 2–4 – Lower Devonian: 2 – Kendei Formation, lower subformation, andesite, basalt; 3 – Kupkhol Formation, trachyrhyolite, trachydacite, their tuff; 4 – Akturug Formation, andesite, basalt, trachyandesite, their tuff; 5, 6 – Silurian: 5 – Fedorovsky Formation, upper subformation, conglomerate, gravelite, sandstone, siltstone; 6 – Atchol Formation, sandstone, red siltstone; 7 – Ordovician (Sistigkhem Group), Uza Formation, sandstone, conglomerate, gravelite; 8–11 – Cambrian: 8 – Chapshi Formation, rhythmic intercalation of conglomerate, sandstone, and siltstone; 9 – Onchan Formation, siltstone, claystone, silty sandstone, lenses of gravelite and limestone; 10 – Irgitkhem Formation, agglomerate tuff, conglomerate, sandstone, gravelite, limestone lenses, 11 – Oreshsky Formation, clayey-siliceous and carbonaceous-siliceous shales, horizons of quartzite, basalt, their tuff, limestone ( $>1280$  m); 12, 13 – Vendian: 12 – Makarovsky Formation, metabasalt, their tuff, siliceous-clayey shale, limestone lenses; 13 – Amyl Formation, sericite-chlorite-albite-quartz schist, lenses of marble, metabasalt; 14–22 – intrusive rocks: 14 – Sistigkhem Subzone, Bulka layered anorthosite-gabbro complex, anorthosite, gabbro, norite, gabbronorite, troctolite, pyroxenite; 15 – Kyzychadr gabbronoritic complex, diorite, quartz diorite, gabbro, gabbrodiorite; 16 – Kurtushibinsky ophiolite belt, Kukshin syenite-alkali granitic complex, granosyenites; 17 – Dzhebash-Amyl Subzone, Dzhoi granitic complex, alkali granite; 18 – Kendei-Sagly basalt-rhyolitic complex, granite porphyry, rhyolite; 19 – basalt, microgabbro; 20 – Makarovsky-Oreshsky basaltic-andesitic-rhyolitic complex, microgabbro, dolerite; 21 – plagiogranite, porphyry; 22 – Idzhim gabbro-ultramafic complex, ultramafic zone ( $\sigma$ ): harzburgite, dunite, serpentinite, serpentized rocks, gabbroic zone ( $\nu$ ): gabbro, gabbronorite, microgabbro dikes, dolerite, basalt; 23 – tectonic mélange; 24, 25 – faults: 24 – proven; 25 – inferred; 26 – thrusts; 27 – Oktyabr'skoe deposit ( $94^{\circ}35'30''$  E,  $53^{\circ}05'$  N); 28 – points of gold mineralization; 29 – observation points (o. p.); 30 – sample numbers; 31 – placers; 32 – position of geological cross-sections.

комплекса распространены среди отложений макаровской и орешской толщ. Штоки и жилообразные тела средне-, мелко- и микрозернистых габбро, диоритов, кварцевых диоритов, плагиогранитов и гранодиоритов преобразованы в условиях зеленосланцевой фации метаморфизма, а вмещающие их эффузивные базиты превращены в альбит-эпидот-актинолитовые сланцы.

В Систигхемской подзоне, в левобережье р. Билелиг, обнажается расслоенный Булкинский массив габбро-анортозитов ордовикского возраста. К раннедевонскому интрузивному магматизму условно отнесен кызыкчадрский габбро-диорит-гранитный комплекс. В начале девона в Амыло-Джебашской зоне происходило становление большепорожского гранитоидного и джойского гранитового комплексов. В Куртушибинском поясе к этому времени отнесены тела кукшинского сиенит-щелочногранитового комплекса.

Структурные блоки района разграничиваются региональными разрывными нарушениями: субширотный Кандатский разлом (севернее района) разделяет Северо-Саянскую и Таннуольско-Хамсаринскую островодужные системы; Куртушибинский офиолитовый пояс оконтуривается субмеридиальными (на территории района) Саяно-Тувин-

ским (с востока) разломом и Усинским надвиговым швом на западе. Разрывы более высоких порядков в Амыло-Систигхемском районе являются сателлитами региональных разломов. Пликативные структуры северо-восточного и субширотного направлений сопровождают разрывы разных порядков. Разрывные нарушения контролируют положение протяженных кварцевых жил, штокверков, полей гидротермально-измененных пород, даек и россыпных месторождений золота.

Амыло-Систигхемская депрессия является долгоживущей морфоструктурой с широко развитой неогеновой гидросетью, почти полностью унаследованной современной гидросетью р. Систиг-Хем и значительно размытой современной гидросетью р. Амыл. Это отличие в геоморфологическом плане объясняется тем, что бассейны этих рек, разделенные Куртушибинским хребтом, принадлежат различным базисам эрозии: р. Амыл относится к Южно-Минусинской впадине с абсолютным уровнем базиса эрозии 243 м, а р. Систиг-Хем – к Улугхемской впадине с абсолютным уровнем базиса эрозии 540 м. Это отражается в приуроченности бассейнов этих рек к разным типам морфогенетических типов россыпей. В бассейне р. Амыл преобладают процессы врезания русел рек (глубинная эрозия) и

вынос материала, россыпи преимущественно долинные нормальные, реже террасовые, местами они могут быть перекрыты делювиально-пролювиальными отложениями (уклон долин 0.02–0.015). В бассейне р. Систиг-Хем преобладает боковая эрозия и аккумуляция материала с формированием погребенных отложений в пределах локальных блоков опускания, россыпи нормальные долинного типа только в верховьях рек, ниже они переходят большей частью в погребенные неогеновые россыпи, перекрытые чехлом более поздних отложений (уклон долин 0.005–0.006) (Прудников, 2004).

### Строение типовых опробованных разрезов

Разрез в долине р. Кундусуг (правый приток р. Амыл) по линии 6 (рис. 1) включает (сверху вниз):

1 – почвенно-растительный слой, мощность 0.3 м;  
2 – склоновые отложения с обломками, щебнем и дресвяно-глинистым материалом ( $арQ_{III-H}$ ), мощность 1–2 м;

3 – промытые сортированные золотоносные гравийно-галечные отложения с песчано-глинистым зеленовато-серым заполнителем ( $аQ_{III}^1$ ), мощность 4–5 м;

4 – плотик: габбро, сильно выветрелые эффузивы.

Разрез в долине р. Черной (правый приток р. Систиг-Хем) по линии 146 (рис. 1) включает (сверху вниз):

1 – почвенно-растительный слой, мощность 0.3 м;

2 – серые, сине-зеленые и коричневые глинистые и илесто-глинистые отложения, количество обломочного материала 5–35 % (гравий, галька, дресва, щебень), ( $арQ_{III-H}$ ), мощность слоя варьирует от 0.5–1.5 до 5–7 м;

3 – яркие желтовато-красные галечно-гравийные отложения с глинистым заполнителем до 15–25 %, мощность 2–7 м. Галька и гравий хорошо окатаны, их содержание варьирует от 40 до 70 %. Обломки пород сильно выветрелые, легко разрушаются. Состав обломков: кварц (5–10 %), эффузивы, габбродиабазы, песчаники, конгломераты ( $аN_2^1$ );

4 – плотик: сильно выветрелые эффузивы.

Тяжелая фракция шлиха песков из россыпи р. Черной включает следующие фракции (%): магнитную (магнетит 80–85, титаномагнетит 10–15, хромшпинелид 5–10, единичные знаки железистого хромита и гетита), электромагнитную (ильменит + манганоильменит 70–75, эпидот 10–15, мартит + гематит 15–20, единичные знаки амфибола и турмалина) и немагнитную (эпидот 90, циркон 3–5, золото, пирит,

арсенопирит, шеелит, киноварь, барит, знаки граната, рутила, анатаза, апатита, титанита и мусковита).

### МЕТОДЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Частицы золота для изучения отобраны в результате промывки аллювия старательским лотком в точках наблюдения исследования россыпей района (рис. 1). Минеральный состав шлиха, гранулометрические и морфологические особенности частиц золота изучалась под бинокулярным микроскопом при небольшом увеличении по традиционной схеме (Родыгина, 2007). Изучена 31 шлиховая проба. Химический состав и внутренняя структура<sup>1</sup> частиц золота в полированных эпоксидных пашках изучены на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) Tescan Vega III SBH с интегрированной системой энергодисперсионного микроанализа Oxford X-Act в лаборатории R&D центра «Норникель» Института горного дела, геологии и геотехнологий Сибирского федерального университета, г. Красноярск (операторы Б.М. Лобастов и С.А. Сильянов). Фотографии частиц золота получены в режиме обратнорассеянных электронов (BSE), значения яркости и контраста подбирались индивидуально для наилучшей визуализации внутренних неоднородностей зерен. Предел обнаружения Au, Ag, Cu составил 0.5 мас. %.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

#### Структурно-морфологическая неоднородность россыпного золота

Частицы золота в изученных россыпях имеют комковатую изометричную и удлинненную формы с ксеноморфными и иногда гипидиоморфными ограничениями (пластинчатой, таблитчатой, призматической морфологии) (рис. 2).

Количественная характеристика гранулометрических, морфологических особенностей и степени окатанности золота в россыпях приведена в табл. 1. В водотоках рр. Кундусуг (между головкой, серединой и хвостом россыпи), Изинзюль (между

<sup>1</sup>Прим. ред. Употребляемая терминология, описывающая структуру и морфологические особенности агрегатов золота (гранобластовая, бетонная, милонитовая, фельзитоподобная, псевдоморфно-криптогранобластовая, экзогенные сростки, ребра частиц), является авторской (Хертек, Сазонов, 2022, 2023).



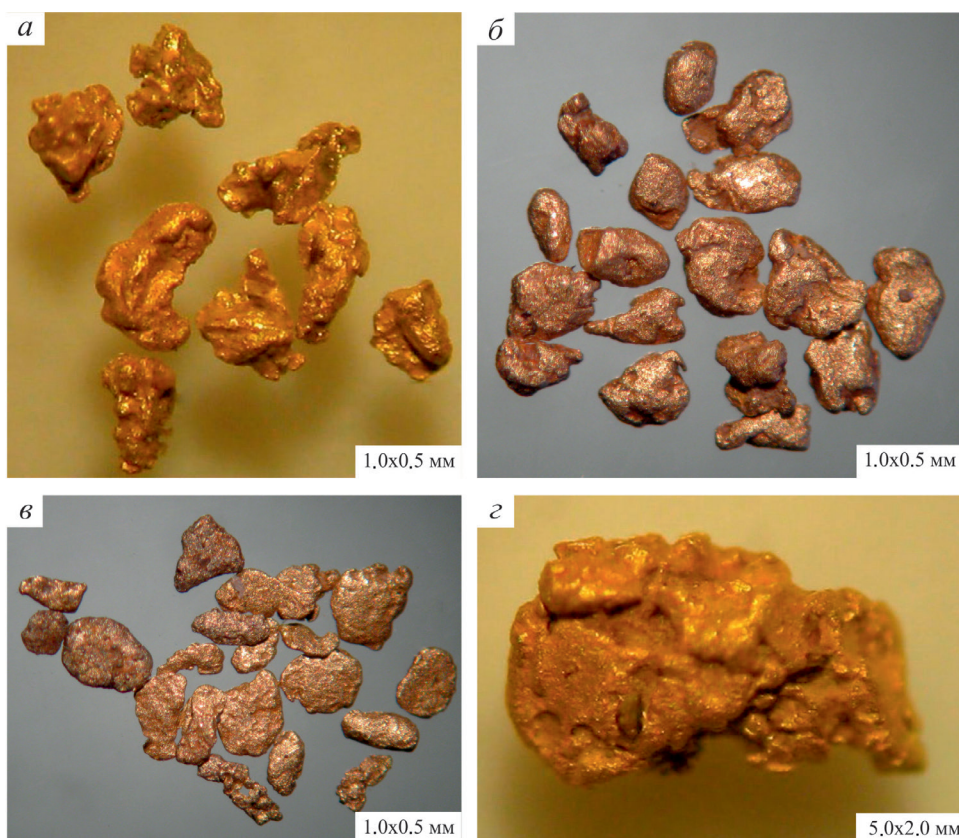


Рис. 2. Морфологические особенности россыпного золота: а – комковатое, неокатанное, т. н. 1001 (р. Мал. Алгияк); б – изометричное, комковатое, окатанное, т. н. 559 (р. Бол. Алгияк); в – пластинчатое, окатанное, т. н. 573 (р. Черная); г – неокатанный агрегат слипшихся частиц, т. н. 1015 (р. Мал. Алгияк).

Fig. 2. Morphological features of placer gold: a – lumpy, unrounded, o. p. 1001 (Maly Algiyak River); б – isometric, lumpy, rounded, o. p. 559 (Bolshoi Algiyak River); в – lamellar, rounded, o. p. 573 (Chernaya River); г – angular aggregate of particles, o. p. 1015 (Maly Algiyak River).

Таблица 1

Физические типоморфные признаки россыпного золота Амыло-Систигхемского рудно-россыпного района, %

Table 1

Physical typomorphic features of placer gold of the Amyl-Sistigkhem ore placer region, %

Водоток	Кондусуг			Изинзюль			Мал. Билелиг			Бол. Билелиг			Мал. Алгияк			Бол. Алгияк			Черная		
	Г	С	Х	Г	С	Х	Г	С	Х	Г	С	Х	Г	С	Х	Г	С	Х	Г	С	Х
Гранулометрия																					
-5 + 2	10	-	-	20	15	100	3	-	н/о	н/о	5	н/о	10	10	-	2	3	2	10	5	1
-2 + 1	35	-	-	30	35	-	7	1	н/о	н/о	15	н/о	25	20	2	5	20	43	30	25	9
-1 + 0.1	55	100	100	50	50	-	90	99	н/о	н/о	80	н/о	65	70	98	93	78	55	60	70	90
Морфология																					
Комковатая	90	95	-	60	40	100	72	85	н/о	н/о	65	н/о	65	65	25	85	60	30	100	20	35
Пластинчатая	10	5	100	40	60	-	8	5	н/о	н/о	35	н/о	35	35	75	15	40	70	-	70	65
Кристаллы, дендриты	-	-	-	-	-	-	20	10	н/о	н/о	-	н/о	-	-	-	-	-	-	-	10	-
Окатанность																					
Не окатанные	30	15	50	45	60	100	65	40	н/о	н/о	5	н/о	75	20	20	60	60	10	85	55	30
Частично окатанные	70	50	50	55	60	100	20	30	н/о	н/о	90	н/о	25	70	55	38	25	45	15	45	50
Окатанные	-	35	-	-	-	-	15	30	н/о	н/о	5	н/о	-	10	25	2	15	45	-	-	20

Примечание. Положение точек наблюдения в россыпи: Г – головка; С – середина; Х – хвост; н/о – не изучалось; прочерк – не выявлено.

Note. Position of observation points in a placer: Г – head; С – middle part; Х – tail; н/о – not determined; dash – not revealed.

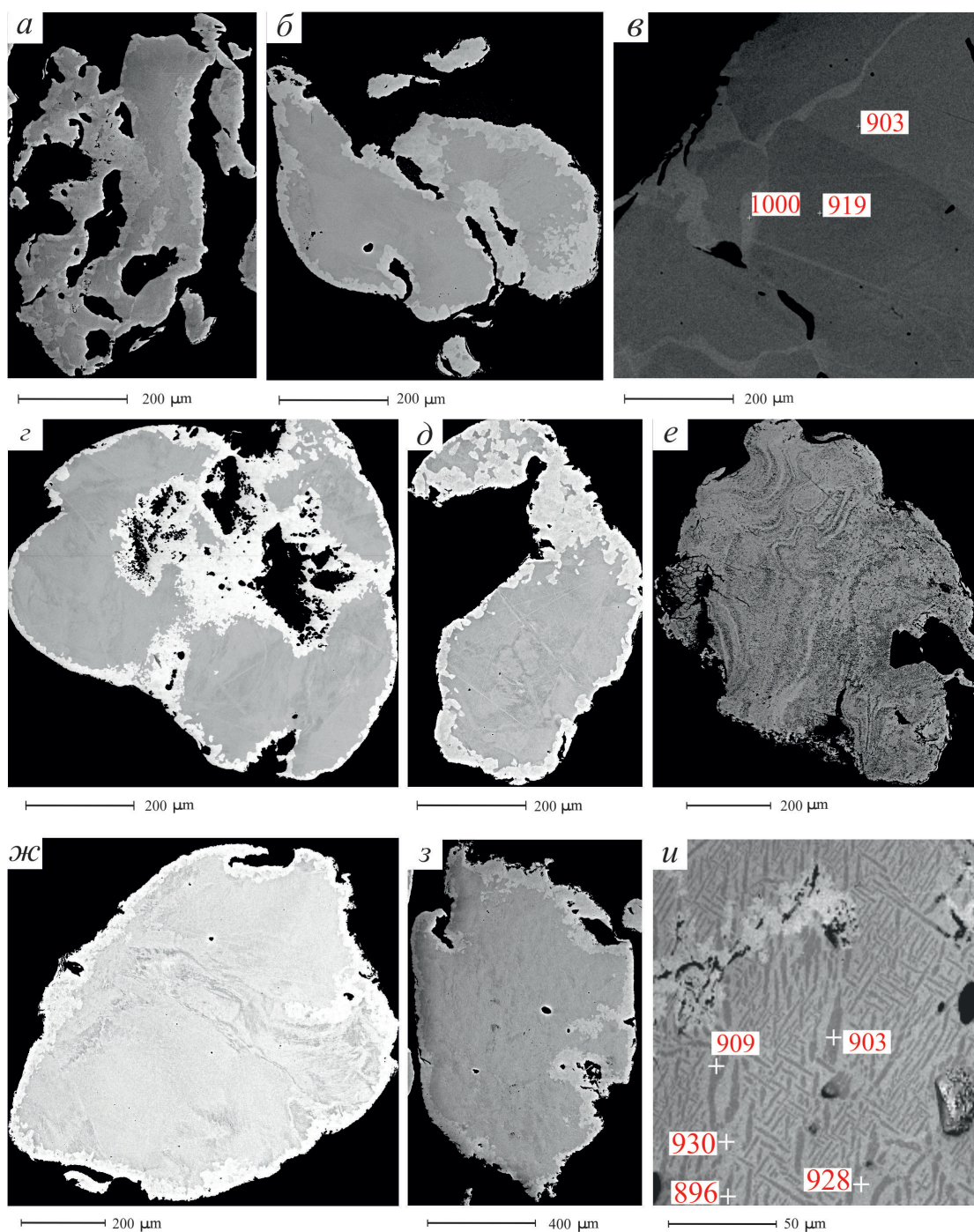


Рис. 3. СЭМ фото срезов россыпного золота Амыло-Систигхемского рудно-россыпного района: а – неокатанная ксеноморфная частица с высокопробной каймой и линзовидно-пятнистым неоднородным ядром; б – окатанная частица с высокопробной каймой и шиповидными отростками нового золота на поверхности; в – фрагмент агрегатной (грано-бластической) частицы с чешуйчатыми отростками аутигенного золота на поверхности и межзерновыми прожилками высокопробного золота; г – агрегат слипшихся частиц с высокопробными каймами; д – изогнутая частица с высокопробной каймой и пятнисто-неоднородным ядром, образовавшимся после изгиба частицы; е – изометричная окатанная частица с шиповидными и чешуйчатыми отростками аутигенного золота на поверхности и плейчато-милонитовой внутренней структурой, в которой полосы разной интенсивности серого цвета отражают различную пробность; ж – окатанная частица с высокопробной каймой, шиповидными и чешуйчатыми отростками аутигенного золота на поверхности и ядром с милонитовой структурой; з – неокатанная гипидиоморфная частица с высокопробной каймой и пятнисто-неоднородным ядром; и – фрагмент частицы медистого золота с пластинчато-решетчатой структурой, в которой светлые и светло-серые пластинки имеют состав Cu-Ag-Au с пробностью 930 ‰ и Cu-Au с пробностью 896 ‰, соответственно.



*Fig. 3.* BSE images of cross-sections of placer gold of the Amyl-Sistigkhem ore placer region: а – angular anhedral particle with a high-fineness rim and a lenticular-spotty heterogeneous core; б – rounded particle with a high-fineness rim and spiky aggregates of new gold on the surface; в – fragment of an aggregate (granoblastic) particle with scales of authigenic gold on the surface and intergranular veinlets of high-fineness gold; г – aggregate of merged particles with high-fineness rims; д – curved particle with a high-fineness rim and a spotty-heterogeneous core formed after bending of particle; е – isometric rounded particle with spikes and scales of authigenic gold on the surface and plicated-mylonite internal structure, in which the bands with different gray tint reflect different fineness; ж – rounded particle with a high-fineness rim, spikes and scales of authigenic gold on the surface, and a core with mylonite structure; з – angular subhedral particle with a high-fineness rim and a spotty-heterogeneous core; и – fragment of cuprous gold particle with platy-lamellar structure, in which the light and light gray plates have the Cu-Ag-Au and Cu-Au composition with fineness of 930 and 896 ‰, respectively.

серединой и хвостом), Мал. Билелиг (между головкой и серединой), Бол. Алгияк (между головкой, серединой и хвостом) и Черная (в середине) фиксируются резкие изменения количественных показателей типоморфных признаков частиц золота.

Морфологические особенности частиц наиболее отчетливо проявлены на BSE изображениях (рис. 3): ксеноморфная амёбовидная форма, гипидиоморфная. На поверхности частиц проявлены шиповидные и чешуйчатые отростки аутигенного золота; отмечается совершенная окатанность частиц, а также экзогенные сростки. Разновидности структур внутреннего строения выражаются неоднородной окраской: от белой до серой разной интенсивности; присутствуют милонитовая структура и структура распада твердого расвора. Увеличение интенсивности серого цвета подчеркивает снижение концентрации Au в составе.

Помимо метасоматических преобразований в ядрах частиц россыпного золота проявлены деформационные структуры. Гипергенные преобразования в агрегатах золота сопровождались формированием минеральных ассоциаций во включениях: лимонит; лимонит + гидрослюдистые глинистые минералы и лимонит + каолинит ± кварц.

### Химические типы и неоднородность россыпного золота

Типизация золотин по химическому составу проведена по внутренним участкам частиц, так как внешние участки представлены химически чистым золотом гипергенного происхождения (Петровская, 1973). В россыпях района выявлены медистое (Cu-Au; Cu-Ag-Au), ртутистое (Hg-Ag-Au) и серебристое (Ag-Au) золото, которые наследуют состав гипогенного золота (табл. 2).

Центральные части зерен россыпного золота, считающиеся реликтами эндогенного золота (Петровская, 1973), обладают более однородным

составом, чем частицы золота из коренных руд. Неоднородность концентрации золота в соседних точках эндогенного золота обычно составляет 15–20 ‰, а в ядрах россыпных частиц – 2–5 ‰, причем количество выявленных случаев неоднородностей снижается на 20 ‰. Преобладающие случаи неоднородности состава ядер частиц россыпного золота отмечены в среднепробном (800–899 ‰) золоте.

Тончайшие межзерновые прожилки (950–1000 ‰), встречающиеся во всех химических типах золота, появляются в зернистых гранобластовых агрегатах. Они отмечаются в частицах с охрами лимонита, без следов окатывания, при минимальном проявлении высокопробных кайм и в окатанных частицах с толстой высокопробной каймой. Их образование связывается с активным диффузионно-инфильтрационным метасоматическим преобразованием золото-серебряных и более сложных химических золотосодержащих систем в гипергенных условиях (Хертек, Сазонов, 2022, 2023). Высокая пробность золота в прожилках связана с выносом Ag и Cu, более подвижных, чем Au. Предполагается, что размеры параметров кристаллической решетки отличаются у низко-, средне-, и высокопробного золота (Хертек, Сазонов, 2023). Раскрытие граничного пространства и отложение высокопробного прожилкового золота, возможно, осуществлялось при метасоматическом замещении гранобластического агрегата ядер и уменьшении объема кристаллической решетки золота от низкой к средней и далее увеличении к весьма высокой пробности в золоте ядра.

Преобладающее количество зерен россыпного золота имело высокопробную кайму толщиной 20–40 мкм, редко 200 мкм. Из общего числа изученных золотин кайма отсутствовала у 13 ‰ (неокатанные частицы золота серебро-золотого состава и ртутистого золота). Около 55 ‰ частиц не окатаны, но имеют высокопробную кайму и 33 ‰ частиц окатаны и окружены каймой.

Химический состав россыпного золота Амыло-Систигхемского района  
Таблица 2  
Table 2

**Chemical composition of placer gold of the Amyl-Sistighem region**

Элементы, ат. %	X <sub>макс.</sub>	X <sub>мин.</sub>	X <sub>ср.</sub>	S	V
Система Ag-Au (серебристое золото, n = 841)					
Ag	24.45	0.39	7.20	4.65	65
Au	99.94	75.32	92.84	4.72	5
Пробность, ‰	996	755	928	46.76	5
Система Hg-Ag-Au (ртутистое золото, n= 44)					
Hg	20.23	1.5	6.52	5.38	83
Ag	22.85	3.95	10.60	4.43	42
Au	96.09	70.72	83.25	5.79	7
Пробность	953	707	831	56.28	7
Система Cu-Ag-Au (медистое золото, n = 27)					
Cu	10.77	0.47	2.32	2.01	87
Ag	7.34	0.3	3.07	2.42	79
Au	100	87.94	94.6	3.87	4
Пробность	988	879	946	35.78	4
Система Cu-Au (медистое золото, n = 8)					
Cu	10.47	0.99	7.51	3.94	53
Au	99.51	89.04	92.05	4.20	5
Пробность	990	896	924	39.46	4

Примечание. Содержания: X<sub>мин.</sub> – минимальное, X<sub>макс.</sub> – максимальное, X<sub>ср.</sub> – среднее; S – среднее квадратичное отклонение; V – коэффициент вариации, %.

Note. Contents: X<sub>мин.</sub> – minimum, X<sub>макс.</sub> – maximum, X<sub>ср.</sub> – average; S – average square deviation; V – coefficient of variation, %.

Высокопробная кайма у ртутистого золота плотная и гранобластовая только во внешней ее части. На границе каймы с реликтовым ядром отмечается гранобластический гранулированный агрегат первичного золота, в котором высокопробное золото каймы образует петельчатый узор по границам зерен. Строение кайм у частиц ртутистого золота с содержанием 5.4 % Hg и более (в нашем случае до 9.21 %) пористое, причем поры имеют червеобразный (мирмекитовый) облик. Особенность строения каймы резко выделяет ртутистое золото среди других химических типов россыпного металла.

У медистого золота строение высокопробной каймы (5–200 мкм) плотное, но иногда, в ней отмечаются пятна участков с группами щелевидных пор, наследующих форму пластинок собственно медистого золота размером (1–2) × (10–40) мкм.

**Характеристика разновидностей россыпного золота района**

В точках наблюдения изученных россыпей выявлены различные сочетания частиц золота по составу и пробности (табл. 3). По составу частицы золота подразделяются на системы Ag-Au, Hg-Ag-Au и Cu-Ag-Au и характеризуются различной проб-

ностью, окатанностью, структурами, присутствием высокопробной каймы или ее отсутствием и парагенетическим комплексом минералов во включениях.

**Система Ag-Au.** Золото такого состава преобладает в россыпях района. На его долю приходится около 93 %. Частицы золотосеребряного состава характеризуются пробностью от относительно низкой до весьма высокой. Содержание Ag варьирует от 0.39 до 24.45 мас. % (табл. 2). Среди них отмечаются частицы разной степени окатанности, которые обладают высокопробной каймой изменчивой толщины или не имеют ее. В некоторых из них проявлена первичная гранобластовая зернистость.

**Золото переходной от относительно низкой к средней пробности (794–802 ‰)** представлено полуокатанными частицами со сплошной высокопробной каймой толщиной 10–20 мкм. Распространенность – менее 1 %. Встречено в россыпи по р. Изинзюль. Форма частиц пластинчатая. Границы частиц прямолинейные со ступенчатыми полигональными углублениями и выступами. Первичная структура частиц гранобластовая с плавными извилистыми границами. Размер зерен 100 × 100 мкм. Присутствуют прожилки с пробностью 1000 ‰. Деформационная структура в ядрах частиц – бетонная (Хертек, Сазонов, 2023). Частицы этого золота

Таблица 3

## Параметры распределения пробыности в ядрах частиц золота россыпей Амыло-Систигхемского района

Table 3

## Distribution parameters of fineness in cores of placer gold particles in the Amyl-Sistighem region

Рудно-россыпной район, химические типы золота, водотоки, номера точек наблюдения	n	X <sub>мин.</sub>	X <sub>макс.</sub>	X <sub>ср.</sub>	S	V, %	Относительно низкопробное 700–799 ‰	Среднепробное 800–899 ‰	Высокопробное 900–949 ‰	Весьма высокопробное > 950 ‰
		‰								
Амыло-Систигхемский. <b>Общая</b>	906	707	996	924	51.6	5.58	<b>32 (3.53)*</b>	187 (20.6)	357 (39.4)	335 (36.97)
Cu-Ag-Au	27	879	988	946	35.8	3.78	–	3 (11.1)	11 (40.7)	13 (48.2)
Cu-Au	8	896	990	924	40.0	4.27	–	1 (12.5)	5 (62.5)	2 (25)
Hg-Ag-Au	45	707	953	833	57.0	6.84	18 (40)	20 (44.4)	6 (13.3)	1 (2.2)
Ag-Au	813	755	996	929	46.9	5.04	13 (1.6)	158 (19.4)	328 (40.3)	314 (38.6)
Амыльский район. <b>Общая</b>	228	775	980	907	45.8	5.05	14 (6.14)	45 (19.74)	147 (64.48)	22 (9.6)
Амыльский район, Cu-Ag-Au (410)	8	918	930	924	3.85	0.42	–	–	8 (100)	–
Амыльский район, Cu-Au (410)	3	896	909	903	6.5	0.72	–	1 (33.3)	2 (66.6)	–
Амыльский район, Ag-Au (634, 410, 411, 415а, 413а, 413, 1012, 415, 414, 1077)	212	776	980	910	43.4	4.77	9 (4.25)	44 (20.75)	137 (64.62)	22 (10.38)
Амыльский район, Hg-Ag-Au (413а)	5	775	788	785	5.4	0.69	5 (100)	–	–	–
Кундусуг общий (413, 410, 634, 413а, 411, 411а)	144	775	965	915	42.8	4.68	6 (4.16)	17 (11.8)	77 (53.5)	14 (9.72)
Кундусуг Cu-Ag-Au (410)	8	918	930	924	3.85	0.42	–	–	8 (100)	–
Кундусуг Cu-Au (410)	3	896	909	903	6.5	0.72	–	1 (33.3)	2 (66.6)	–
Кундусуг Ag-Au (413, 410, 634, 413а, 411, 411а)	98	783	965	921	34.8	3.78	1 (1.02)	16 (16.3)	67 (68.37)	14 (14.3)
Кундусуг Hg-Ag-Au (413а)	5	775	788	785	5.4	0.69	5 (100)	–	–	–
Изинзюль Ag-Au. <b>Общая</b> (1012, 415, 414, 415а, 1077)	114	776	980	899	47.6	5.29	8 (7.0)	28 (24.6)	70 (61.4)	8 (7.0)
Систигхемский район. <b>Общая</b>	678	707	996	930	52.2	5.61	18 (2.7)	142 (21)	210 (31)	308 (45.4)
Систигхемский район. Cu-Au (573)	4	901	990	925	43.1	4.67	–	–	3 (75)	1 (25)
Систигхемский район. Cu-Ag-Au (1101, 1099, 1097а, 1106а, 1351, 573)	19	879	988	955	39.2	4.11	–	3 (15.8)	3 (15.8)	14 (73.7)
Систигхемский район Ag-Au	613	755	996	935	45.9	4.91	4 (0.65)	119 (19.41)	198 (32.3)	292 (63.94)
Систигхемский район. Hg-Ag-Au (1106, 556, 559, 563, 564, 573)	40	707	953	839	57.7	6.88	12 (30)	20 (50)	6 (15)	1 (2.5)
Малый Билелиг. <b>Общая</b> (1097, 1097а, 1100, 1100а, 1101, 1101а, 1269, 1099, 1099а)	277	844	996	964	28.7	2.98	–	16 (5.8)	31 (11.2)	230 (83)



Продолжение таблицы  
Table continuation

Рудно-россыпной район, химические типы золота, водотоки, номера точек наблюдения	n	X <sub>мин</sub>	X <sub>макс</sub>	X <sub>ср</sub>	S	V, %	Относительно низкопробное 700–799 ‰	Среднепробное 800–899 ‰	Высокопробное 900–949 ‰	Весьма высокопробное > 950 ‰
Малый Билелиг. Cu-Ag-Au (1101, 1099, 1097а)	10	966	988	980	6.7	0.68	–	–	–	10 (100)
Малый Билелиг. Ag-Au (1097, 1097а, 1099, 1100, 1100а, 1101, 1101а, 1269, 1099а)	267	844	996	964	29.1	3.02	–	16 (6)	31 (11.6)	220 (82.4)
Большой Билелиг. Общая (567, 1409, 1290, 1106, 1106а)	104	755	990	936	54.1	5.78	4 (3.9)	17 (16.3)	18 (17.3)	65 (62.5)
Большой Билелиг. Cu-Au (1106а)	2	986	990	988	2.83	0.29	–	–	–	2 (100)
Большой Билелиг. Cu-Ag-Au (1106а)	3	975	983	980	4.62	0.47	–	–	–	3 (100)
Большой Билелиг. Ag-Au (567, 1409, 1290, 1106, 1106а)	95	755	984	935	55.2	5.9	4 (4.21)	16 (16.8)	15 (15.8)	60 (63.16)
Большой Билелиг. Hg-Ag-Au (567, 1106)	4	882	925	909	18.6	2.04	–	1 (25)	3 (75)	–
Малый Алгияк. Общая (556, 563, 564, 1015, 1001)	69	707	948	874	47.5	5.44	6 (8.7)	40 (58)	23 (33.3)	–
Малый Алгияк. Ag-Au (556, 563, 1015, 1001)	50	834	948	892	32.4	3.63	–	29 (58)	21 (42)	–
Малый Алгияк. Hg-Ag-Au (556, 563, 564)	19	707	903	827	50.0	6.04	6 (31.6)	11 (57.9)	2 (10.5)	–
Большой Алгияк. Общая (557, 559, 558, 1003)	88	844	957	912	30.4	3.3	–	21 (23.9)	61 (69.3)	6 (6.8)
Большой Алгияк. Hg-Ag-Au (559)	8	844	885	860	14.0	1.62	–	8 (100)	–	–
Большой Алгияк. Ag-Au (557, 559, 558, 1003)	80	853	957	917	26.6	2.9	–	13 (16.25)	61 (76.25)	6 (7.5)
Чёрная. Общая (573, 1351-3, 1351, 1292)	140	748	958	891	50.7	5.65	8 (5.7)	48 (34.3)	77 (55)	7 (5)
Чёрная Cu-Au (573)	3	901	906	904	2.52	0.28	–	–	3 (100)	–
Чёрная Cu-Ag-Au (573)	6	879	936	901	18.8	2.08	–	3 (50)	3 (50)	–
Чёрная. Ag-Au (573, 1351-3, 1351, 1292)	121	801	958	904	43.0	4.76	–	45 (37.2)	70 (57.9)	6 (5)
Чёрная. Hg-Ag-Au (573)	9	748	953	812	79.1	9.74	7 (77.7)	–	1 (11.1)	1 (11.1)

Примечание. n – число анализов. Значения: X<sub>мин</sub>, X<sub>макс</sub>, X<sub>ср</sub> – минимальное, максимальное и среднее арифметическое, соответственно; S – среднеквадратичное отклонение; V – коэффициент вариации, %; **32 (3.53)\*** – абсолютное значение (%); прочерк – не обнаружено.

Note. n – number of analyses. Values: X<sub>мин</sub>, X<sub>макс</sub>, X<sub>ср</sub> – minimum, maximum, and arithmetic mean, respectively; S – average square deviation; V – coefficient of variation, %; **32 (3.53)\*** – absolute value (%); dash – not detected.

сопоставимы с золотом коренных кварцевых руд Октябрьского месторождения (Хертек, Сазонов, 2023). Предполагается, что золото этого типа поступало в россыпь из близ лежащих кор выветривания.

*Золото средней пробности (800–899 ‰)* подразделяется на две разновидности.

1. Неокатанные и полукатанные частицы с высокопробной каймой. Распространенность – около 4 %. Преобладает золото с пробностью выше 850 ‰ (72 %). Распространено в россыпях по рр. Изинзюль, Кундусуг, Мал. Алгияк, Мал. и Бол. Билелиг и Чёрная. Морфология частиц таблитчатая, осложненная полигональными ступенчатыми выступами и углублениями. В некоторых частицах наблюдается первичная гранобластовая структура с прямолинейными и плавными извилистыми границами зерен. Межзерновые границы частично подчеркиваются прожилками высокопробного золота толщиной до 5 мкм. Размеры гранобластовых индивидов колеблются от  $80 \times 80$  до  $150 \times 150$  мкм. В частицах развиты бетонные деформационные структуры, занимающей от 30 до 100 % объема. В меньшей степени распространены катакластическая и милонитовая структуры.

Частицы золота имеют высокопробную кайму толщиной от 10 до 100 мкм, чаще всего – 20–40 мкм. Кайма прерывистая и окружает частицы на 70–80 % протяженности периметра. Пробность золота в каймах обычно 1000 ‰, но изолированные фрагменты имеют пробность 970, 980 и 996 ‰. В углублениях поверхности частиц иногда наблюдается «моховидное» золото. В некоторых частицах отмечаются включения кварца, халькопирита, лимонита, каолинита и гидрослюдистых глинистых минералов. Глинистые минералы обычно пропитаны гидроксидами Fe.

Частицы этого золота относятся к халькопирит-пиритовому минералогическому типу в кварцевых жилах среди березитов, поступающих из близ расположенных кор выветривания.

2. Окатанные частицы с высокопробной каймой толщиной от 10 до 40 мкм. Распространенность – около 7 %. Частицы встречены в россыпях рр. Мал. и Бол. Алгияк, Бол. Билелиг, а в россыпи р. Чёрной окружены каймой техногенной золото-серебряной амальгамы. Морфология частиц эллипсоидная, иногда сферическая и редко треугольная с округленными ребрами. Поверхность шероховатая с плавными «прямоугольно-ящичными», а иногда клиновидными щелевидными углублениями. Выступы сглажены и прижаты к поверхности частиц.

Внутренняя структура ядер частиц обычно деформационная – бетонная и катакластическая (25–80 % объема). Редко наблюдается первично-гранобластовая структура с размерами зерен  $200 \times 200$  мкм. Здесь же по межзерновым границам наблюдаются нитевидные прожилки с пробой 983–939 ‰. Высокопробная кайма частиц прерывистая и сплошная. Пробность золота в кайме изменчива: в разных частицах она варьирует от 976 до 1000 ‰; иногда неоднородность пробности отмечается в кайме одной частицы.

Пленки техногенной амальгамы толщиной 20–40 мкм (р. Чёрная) с трещинами «усыхания» окружают высокопробную кайму. Иногда амальгама проникает в пограничную область между реликтовой частицей и ее высокопробной каймой. В амальгаме отмечаются точечные частицы золота без ртути.

В ядрах первичного золота наблюдаются включения арсенопирита, содержащего микрочастицы золота с пробностью 840 ‰ и каолинита, пропитанного гидроксидами Fe и содержащего редкоземельные элементы (РЗЭ). С.С. Ильенко (1948ф) отмечал в шлихах по рр. Мал. Билелигу и Изинзюлю монацит. Места появления монацита контролируются выходами тел метадiorитов. Химический состав арсенопирита (мас. %): 34.58 Fe, 44.65 As, 21.01 S. Отношения  $S/As = 1.099$  и  $(S + As)/Fe = 2.021$  свидетельствуют о кристаллизации арсенопирита с включением золота при температуре 428 °С и активности серы в растворе  $-\log a_{S_2} = -6.55$  (Сазонов и др., 2016).

*Золото высокой пробности (900–949 ‰)* подразделяется на три разновидности.

1. Неокатанные частицы, в которых высокопробная кайма отсутствует или фрагментарно-пленочная толщиной до 1 мкм. Наиболее распространены частицы с пробностью 920–930 и 940–949 ‰. В некоторых частицах в узлах ребер отмечаются узелки высокопробного золота толщиной до 10 мкм. Пробность золота в кайме составляет 1000 ‰. Распространенность – около 2 %. Морфология частиц интерстиционная (пластинчатая, амёбовидная, гантелевидная) с клиновидными и полигонально-ступенчатыми выступами и углублениями. Частицы встречены в россыпях рр. Чёрной и Мал. Билелиг. Частицы золота в россыпи р. Чёрной окружены техногенной амальгамой (90.5 % Au, 9.5 % Hg). Пленка пористая зернистая толщиной до 10 мкм. Снаружи пленка покрыта гидроксидами Fe с гнездами гидрослюды.

Внутренняя структура частиц гранобластовая, между отдельными зёрнами развиты прожилки высокопробного золота. Участками в зёрнах наблюдается катаклаз. В частицах встречены включения альбита, анкерита и агрегатов – эпидот + серицит + кварц. Частицы этого золота испытали незначительный перенос из области выветрелых участков альбит-кварцево-жильных руд низкотемпературных пропилитов.

2. Неокатанные, реже незначительно окатаннные частицы, часто окаймленные сплошной высокопробной каймой (1000 ‰) толщиной 20–40 мкм. Нередко кайма сопровождается сателлитами изометрично-полигональной формы 10 × 10 мкм. Распространенность – 48 %. Морфология зёрен интерстиционная (комовидная и таблитчатая с полигональными отроостками; гломеробластовые сростки из нескольких зёрен). Поверхность частиц характеризуется полигональными и клиновидными выступами и ограничениями. Первичная структура частиц равномерно-гранобластовая с размерами зёрен 100 × 100 и 200 × 200 мкм. По границам зёрен нередко проявлены прямолинейные прожилки с пробностью 1000 ‰. Деформационные структуры в ядрах частиц – преобладающая бетонная, а также катакластическая и милонитовая. Частицы этого типа встречены в россыпях рр. Прав. и Лев. Кундусуг, Изинзюль, Бол. и Мал. Алгияк и Чёрной. В россыпи р. Чёрной присутствуют частицы с каймой техногенной амальгамы толщиной 1–20 мкм. Структура пленки золото-серебряной амальгамы криптозернистая (фельзитоподобная) с трещинами «усыхания». Поверхность частиц золота корродируется каймой амальгамы.

В частицах отмечаются включения ильменита, эпидота (р. Прав. Кундусуг), кварца, глинистых минералов, гидроксидов Fe (рр. Изинзюль, Бол. Билелиг), арсенопирита (р. Чёрная). Химический состав арсенопирита (мас. %): 34.21 Fe, 43.78 As, 22.12 S. Отношения S/As = 1.181 и (S + As)/Fe = 2.082 свидетельствуют о кристаллизации арсенопирита в золоте при температуре 400 °C и активности серы в растворе ( $\log a_{S_2} = -7,2$ ) (Сазонов и др., 2016). Предполагается, что частицы этого типа золота поступили из близрасположенных кор выветривания кварцево-жильных руд среди пропилитов.

3. Окатанные частицы, окруженные преимущественно сплошной высокопробной каймой толщиной от 5 до 50 мкм. Около 80 % частиц имеют пробность 920–949 ‰. Прерывистость каймы наблюдается у 20 % частиц. Распространенность

– около 20 %. Встречаются частицы с видимым первичным гранобластическим строением. Размер зёрен – 150 × 150 мкм. Между зёрнами наблюдаются прожилки с пробностью 1000 ‰. Форма частиц таблитчатая и клиновидная с округленными ребрами, эллипсоидная и редко шаровидная. Реликтовые выступы прижаты к основному телу частиц. Некоторые пластинки изогнуты и имеют S-образную или дугообразную форму. Деформационная внутренняя структура частиц бетонная или, реже, милонитовая.

В частицах отмечены включения ильменита, эпидот-клиноцоизита, каолинита, гидрослюдистых глинистых минералов, кварца и гидроксидов Fe. Частицы этой разновидности встречены в россыпях рр. Прав. и Лев. Кундусуг, Изинзюль, Бол. Алгияк, Бол. Билелиг и Чёрной. Частицы, вероятно, поступали в россыпь из кварцево-жильных руд пропилитизированных метадиоритов.

*Золото весьма высокой пробности (>950 ‰)* подразделяется на три разновидности.

1. Неокатанные частицы, в которых высокопробная кайма отсутствует либо прерывистая пленочная. Пробность пленок составляет 1000 и 995–998 ‰. Количество частиц с пробностью 950–969 ‰ составляет 40 %, 970–989 ‰ – 60 %. Распространенность в россыпях района – около 8 %. Морфология частиц интерстиционная (амбовидная, таблитчатая, гантелевидная, комовидная, призматическая с коленообразным изгибом). Границы характеризуются полигонально-ступенчатыми углублениями и выступами. Поверхности прямолинейные и полого-волнистые, иногда с тонкобугорчатыми и зубчатыми наростами (возможны коррозионные ограничения). В занорышах отмечается «моховидное» золото. В единичных случаях присутствуют прямолинейные и дугообразные прожилки высокопробного золота (1000 ‰). Деформационные структуры не проявлены в 30 % частиц, в остальных фиксируются катакластические и бетонные разности в одинаковом количестве. В частицах отмечены включения халькопирита, пирита, брейнерита, анкерита, мусковита, герсдорфита, галенита (в том числе Se-содержащего), алексита и рутила. Золото этого типа встречено в россыпях р. Мал. Билелиг. Частицы золота принадлежат, вероятно, халькопирит-пиритовому минеральному типу среди березитов. Поступили в россыпь из близлежащих коренных источников.

2. Неокатанные частицы с высокопробной каймой толщиной от 10 до 50 мкм. Преобладающая (85 %) пробность составляет 950–959 ‰,



15 % приходится на пробность 960–969 ‰. Кайма утолщается на реберных выступах. В углублениях частиц встречается «моховидное» золото. Структура каймы криптозернистая (фельзитоподобная). Пробность золота в кайме – 985–1000 ‰. Распространенность в россыпях составляет около 1.5 %. Морфология частиц интерстиционная (пластинчатая, амёбовидная, комовидная) с полигонально-ступенчатými выступами и углублениями. Некоторые пластинки S-образно изогнуты. Деформационная структура частиц преимущественно бетонная, редко милонитовая. В частицах отмечены включения рыхлых агрегатов лимонита и глинистых гидрослюдистых минералов. Частицы этого типа золота встречены в россыпях рр. Изинзюль и Бол. Алгияк и поступили из близлежащих кор выветривания.

3. Окатанные частицы с высокопробной (1000 ‰) сплошной и прерывистой каймой толщиной 10–30 мкм. Преобладающее количество (90 %) частиц имеют пробность 950–959 ‰, а около 10 % частиц – 960–969 ‰. Распространенность в россыпях – менее 1 %. Форма частиц эллипсоидная, караваевидная. Поверхность частиц тонкошиповидная. Тонкие выступы прижаты к частицам. Деформационные структуры плохо различимы, возможно, из-за тонкой милонитизации. Частицы этого типа встречены в россыпях рр. Прав. Кундусуг и Мал. Билелиг. Частицы, вероятно, поступали из промежуточного коллектора.

**Система Hg-Ag-Au.** Распространенность ртутистого золота в россыпях района составляет около 5 %.

*Ртутистое золото относительно низкой пробности (707–795 ‰)* имеет состав (мас. %): 71–79 Au, 22.8–10.7 Ag, 4.3–9.8 Hg (табл. 2). Выделены две его разновидности.

1. Неокатанные частицы с пробностью 775–788 ‰ без высокопробной каймы. Состав (мас. %): 77.6–78.8 Au, 15.9–17.0 Ag, 4.3–5.5 Hg (табл. 2). Встречено в россыпи р. Лев. Кундусуг, характеризуется клиновидной формой с полигонально-ступенчатými выступами. Отмечаются волосовидные прожилки золота без примесей. Частицы поступили из близлежащих окисленных руд.

2. Изометричные окатанные частицы с пробностью 707 и 791–795 ‰ и пористой каймой. Состав (мас. %): 70.7–80.2 Au, 22.8–10.7 Ag, 6.4–9.8 Hg (табл. 2). Поры характеризуются червеобразной морфологией. Кайма имеет неоднородное строение. Пленки, окружающие поры, не содержат Ag и Hg. Матрица пористого золота имеет более вы-

сокую пробность, чем ядра частиц, но более низкое содержание Hg при почти одинаковом содержании Ag. Золото установлено в пробах №№ 563 и 566 россыпи по р. Мал. Алгияк. На стенках пор отмечаются налеты агрегатов гидроксидов Fe, каолинита, лейкоксена, минералов кремнезема, серы и серебра.

*Ртутистое золото средней пробности (810–882 ‰)* имеет состав (мас. %): 79.9–91.5 Au, 10.03–16.25 Ag, 2.12–5.40 Hg. Выявлены две разновидности – окатанная и неокатанная.

1. Неокатанные частицы с пробностью 824–882 ‰ без высокопробной каймы. Встречено в россыпях рр. Мал. Алгияк и Бол. Билелиг. Морфология частиц изометричная и интерстиционно-крючковатая со ступенчато-полигональной поверхностью. Внутреннее строение частиц деформационное, отмечаются бетонная и катакластическая структуры. Включения в золоте представлены кварцем, арсенопиритом, хлоритом, карбонатом (?), гидрослюдистыми глинистыми минералами. Частицы поступили из близлежащих коренных золото-кварцевых руд.

2. Окатанные частицы с пробностью 810–859 ‰ и высокопробной каймой. В ртутистом золоте с содержанием Hg менее 5 % кайма имеет плотное строение. Частицы золота, содержащие >5.4 % Hg, местами имеют высокопробную пористую кайму толщиной от 10 до 100 мкм. Морфология пор червеобразная. Пробность золота в каймах – от 954 до 1 000 ‰. Более высокопробное золото примыкает к пустотам. Частицы этого типа, вероятно, поступили в россыпи из окисленных золото-кварцевых руд кор выветривания.

Состав окатанного золота (мас. %): 79.93–81.08 Au, 15.48–16.25 Ag, 2.58–2.67 Hg. Встречено в россыпи р. Мал. Алгияк. Морфология частиц эллипсоидная. Внутренняя структура частиц бетонная. Частицы имеют высокопробную кайму толщиной от 10 до 30 мкм. Структура каймы плотная псевдоморфно-криптогранобластовая. Золото в кайме с размером зерен 2–6 мкм двухфазное, отличающееся интенсивностью цвета. Пробность зерен золота в кайме – 985 и 988 ‰; состав (мас. %): 98.52–98.55 Au, 1.18–1.45 Ag. Состав высокопробных зерен не определялся. В частицах золота встречены включения хлорита, а в налетах на стенках пор фиксируются пылевидные агрегаты гидроксидов Fe, каолинита и гидрослюдистых глинистых минералов.

*Ртутистое золото высокой пробности (902–919 ‰)* включает неокатанные частицы, в которых высокопробная кайма отсутствует или представлена пленкой. Состав золота (мас. %): 90.06–91.70

Au, 6.25–8.06 Ag, 1.89–3.58 Hg. Морфология частиц интерстиционная со ступенчато-полигональными ограничениями. Внутренняя первичная структура гранобластовая с размером зерен  $20 \times 20$  и  $50 \times 50$  мкм. Гранобластовая структура подчеркивается межзерновыми нитевидными прожилками с пробностью 1000 ‰. Первичную структуру в некоторых зернах нарушают катакластические деформации, примыкающие к кайме и занимающие около 20–40 % среза зерен. Пленочная высокопробная кайма плотная толщиной менее 1 мкм с узелками до 3 мкм. Развивается не по всей поверхности (от 10 до 50 %). Пробность золота в кайме составляет 1000 ‰. Встречена в россыпи р. Мал. Алгияк. В частицах золота отмечены включения хлорита, кварца, карбоната (?) и гидрослюдистых глинистых минералов. Частицы этого типа золота поступили в россыпь из близлежащих коренных золото-кварцевых руд.

**Система Cu-Ag-Au.** Медистое золото в россыпях района занимает около 2 %. Золото встречено в россыпях рр. Кундусуг, Мал. Билелиг и Чёрной. Частицы характеризуются однородной и неоднородной структурами ядер зерен, выявляемыми по интенсивности тонов на BSE изображениях.

Однородные частицы имеют следующий состав (мас. %): 91.8–92.53 Au, 4.47–5.02 Ag, 2.67–3.26 Cu. Пробность частиц – 918–925 ‰. Низкое содержание Cu свидетельствует о примесной не минералообразующей форме Cu в Ag-Au сплаве (Новгородова, 1983).

Структура неоднородных частиц обусловлена точечными (менее 1 мкм), изометрично-пятнистыми ( $40 \times 60$  мкм), линзовидно-пластинчатыми ( $5 \times 40$  мкм) образованиями (иногда пересекающимися под углом) медистого золота без Ag (89.07–91.60 % Au, 8.91–10.77 % Cu), отвечающими формуле  $CuAu_4$ . Матрица имеет состав (мас. %): 89.94–91.30 Au, 3.06–7.34 % Ag, 2.84–3.84 Cu. Неоднородность, видимо, обязана распаду твердого раствора на устойчивые фазы. Золото матричной фазы высокопробное (900–930 ‰) и высокомедистое, тогда как у линзовидно-пластинчатых и изометричных обособлений (901–909 ‰) содержания Cu низкие, но присутствует Ag. Иногда в частицах наблюдаются высокопробные прямолинейные прожилки и первично-гранобластовое строение с размером зерен  $350 \times 350$  мкм.

Неокатанные или незначительно окатанные частицы имеют изометричную и интерстиционную морфологию с полигональными выступами и углублениями. Высокопробная пористая кайма (1000 ‰)

толщиной до 200 мкм присутствует в частицах из аллювия рр. Кундусуг и Чёрной. В россыпи р. Мал. Билелиг высокопробная кайма пленочная и прерывистая. Поры в высокопробной кайме имеют пластинчатую морфологию в срезах и размер  $1-2 \times 25-40$  мкм и наследуют форму пластинок медистого золота без Ag. В россыпи р. Чёрной встречаются частицы золота с пленкой техногенной амальгамы. В частицах отмечаются включения никелина, халькозина и эпидот-клиноцоизита. Частицы медистого золота поступали в россыпи из близлежащих кор выветривания.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Наиболее распространенным золотом Ag-Au состава (70 %) в россыпях района является весьма высокопробное и высокопробное золото (>900 ‰), при этом в коренных проявлениях количество низко- и среднепробного золота (600–900 ‰) составляет 100 % (Хертек, Сазонов, 2023). С.Г. Прудников (2004), К.М. Кильчичаков с соавторами (1986ф), а также В.А. Тюкпиеков (2013ф) считают, что золото россыпей и коренных проявлений связано с недостаточной изученностью коренных проявлений и наличием в районе не открытых коренных месторождений. Ведущим коренным источником золота россыпей района явились кварцевые жилы и сульфидно-карбонатно-кварцевые штокверки, рассредоточенные на площади и сближенные в пределах Октябрьского месторождения рудно-россыпного района.

По мнению большинства исследователей формирование коренного золотого оруденения связано с метадиоритами макаровско-орешского (изинзюльского) комплекса (Прудников, 2004). Более высокая пробность золота в россыпях относительно коренного связана с гипергенным метасоматическим облагораживанием золота в россыпи (Хертек, Сазонов, 2022, 2023).

Ртутистое золото характерно для руд золото-ртутных месторождений, присутствие которых в рудно-россыпном районе до настоящего времени достоверно не установлено. После упоминания С.С. Ильенка (1948ф) о киноварной минерализации на территории Октябрьского рудного поля В.Г. Богомоллов и др. (1955ф) при проведении геолого-съёмочных работ выявил несколько зон брекчирования на месторождении с аномалиями Hg и киноварной минерализацией. В одиночных пробах-протоколках им отмечена киноварь и знаки золота. В.М. Крупник и др. (1992ф) предполагает, что ме-

дистое и ртутистое золото связано с оруденением золото-известково-силикатной формации в ультраосновных породах.

Судя по литературным данным, ртутистое золото отлагается при низких температурах, часто среди черносланцевых терригенных пород (Некрасов, 1991). В.А. Степанов (2022) отмечает, что ртутистое золото (от 1–2 до 26.9 % Hg) встречается в коренных месторождениях золота от архея (Хемло – 2.6–2.7 млрд лет) до мезозоя (Кючюс), а также в россыпях – от древних метаморфизованных (Витватерсранд) до современных аллювиальных. Крупные по запасам коренные месторождения (Кючюс, Воронцовское, Хемло, Джинья) золото-ртутной формации являются малоглубинными (500–1500 м) с температурой образования руд 150–250 °С (Степанов, 2022). Рудные тела локализованы в аргиллитах и лиственитах. Продуктивные минеральные комплексы содержат сульфиды As, Hg, Cu, Sb, Zn и Pb. Золото из этих месторождений имеет пробность 700–986 ‰ и характеризуется неоднородным распределением Hg и Ag. Ртутистое золото развито в месторождениях Унья-Бомского рудно-россыпного района Приамурья (Степанов, 2022). Коренные проявления относятся к малосульфидной золото-кварцевой формации. Продуктивный минеральный комплекс представлен шеелитом, арсенопиритом, пиритом и галенитом. В россыпях в ассоциации с ртутистым золотом отмечаются шеелит, арсенопирит, пирит, галенит, киноварь и сперрилит. Рудное и россыпное золото содержит ртуть от 1–2 до 9.37 % (Степанов, 2022).

Предполагается, что россыпи золота изучаемого района сформировались за счет размыва фронтальной части коренных руд, развитых в кварцево-жильных рудах с золото-серебряной минерализацией, выявленной С.Г. Прудниковым (2017). В этих рудах, видимо, развита киноварь, отмеченная С.С. Ильенком в пределах Октябрьского рудного поля в шлихах по руч. Дроновскому (восточный фланг, жила Баба) и руч. Октябрьскому (западная окраина рудного поля). Минерал присутствует в заметном количестве, за счет чего, по свидетельству С.С. Ильенка, шлик приобрел красноватый оттенок. Размеры зерен киновари достигали 2 мм. Одиночные зерна киновари встречены в шлихе аллювия в средней части р. Кушкин. В нашем случае, ртутистое золото включает низко-, средне- и высокопробные частицы, что косвенно свидетельствует о широком диапазоне температур образования коренной золото-кварцевой минерализации.

Медистое золото россыпей района следует относить к системе Ag-Au с примесью Cu, при распаде которого выделяются пластинки более стехиометричной фазы CuAu<sub>2</sub> (Новгородова, 1983; Юшко-Захарова и др., 1986). Медистое золото, охарактеризованное на месторождении Золотая Гора на Урале, локализовано в родингитах либо хлорит-карбонатных метасоматитах среди альпинотипных гипербазитов (Спиридонов, Плетнев, 2002; Мурзин, Варламов, 2010). Проявление оруденения этого генетического типа в рассматриваемом регионе ранее упоминалось В.М. Крупником (1992ф) в офиолитах Эйлигхемского рудно-россыпного района Тывы. С.Г. Прудников (2004) считает, что одним из источников россыпного золота в районе являются золотоносные породы Куртушубинского офиолитового пояса.

Медистое золото также отмечается в медно-молибден-порфиновых месторождениях Южной Сибири (Гаськов и др., 2006; Спиридонов, 2010). В нашем случае не исключается возможность связи золота с медно-порфировым оруденением в девонских вулcano-плутонических структурах на северо-западе и юго-востоке площади рудно-россыпного района. Проявления медистого золота установлены нами в россыпях рр. Кундусуга, Мал. Белелига и Черной в непосредственной близости от выходов девонских пород. На генетическую связь кварцевых жил с весьма высокопробным золотом (930–990 ‰) и малых интрузий девонского возраста указывал С.С. Кальниченко (1972). Помимо выше указанных генетических типов месторождений медистое золото отмечается в скарнах южной Сибири (Коробейников, 1999; Гаськов и др., 2006). В настоящее время в Республике Тыве разрабатывается месторождение медистого золота Тардан в магнетитно-известковых скарнах, расположенное в 400 км южнее Амыло-Систигхемского района. Проявления скарнов на площади исследуемого района до настоящего времени не отмечались.

## ВЫВОДЫ

Золото изученных россыпей Амыло-Систигхемского рудно-россыпного района (Республика Тыва, Красноярский край) характеризуется широкой изменчивостью морфологических особенностей, внутреннего строения, химического состава и преобразований в гипергенных условиях. В россыпях района охарактеризовано золото состава Ag-Au, Hg-Ag-Au и Cu-Hg-Au с широким диапазоном пробности. Выделено 17 разновидностей



частиц золота, которые характерны для месторождений различных генетических типов. Иногда степень их изменения в сравнении с гипогенным золотом весьма значительная. Наиболее распространено (93 %) золото Ag-Au состава, на долю ртутистого золота приходится чуть более 5 %, а медистого – 1.9 %. Золото всех химических типов встречается в виде не окатанных, полуокатанных и окатанных частиц различной степени деформированности, что свидетельствует о разном удалении частиц в россыпи от области питания. Другой особенностью россыпного золота являются высокопробные каймы по периферии у окатанных и неокатанных частиц. По нашему мнению, такие каймы типичны для частиц, пребывающих длительное время в золотоносном пласте в условиях относительного покоя. Присутствие неокатанных частиц без высокопробной каймы свидетельствует о незначительном времени их пребывания в россыпи.

В частицах золота обычно проявлена резкая неоднородность состава с отчетливыми границами фаз: практически чистое золото (пробность около 1000 ‰) в краевых зонах и тончайших межзерновых прожилках среди зернистых агрегатов ядер, образовавшихся в экзогенных условиях и, собственно, в ядрах частиц, считающихся по химическому составу реликтами эндогенного золота. Ядра частиц россыпного золота более однородны по сравнению с золотом из коренных руд. Отличия концентрации Au в соседних точках и по всей площади ядра зерен золота редко превышают 2 %, в то время как у частиц коренных руд неоднородность концентрации Au в соседних точках нередко составляет 15–20 %. По нашему мнению, более однородный состав золота в частицах россыпного золота является следствием метасоматических преобразований золота в гипергенных условиях.

Средне- и высокопробное золото встречается во всех точках наблюдения. Источником высокопробного золота Ag-Au состава, по нашему мнению, служили пропилиты и альбит-кварцевые жилы. В частицах этого золота во включениях установлен характерный для пропилитов продуктивный минеральный комплекс: (ильменит + эпидот-клиноцоизит + альбит + анкерит) + кварц. Среднепробное золото типично для коренных месторождений золото-сульфидно-кварцевой и золото-сульфидной формаций. В нем включения представлены минералами золото-сульфидной ассоциации (кварц + арсенипирит + халькопирит), которая распространена в кварцевых жилах среди березитов района.

Весьма высокопробное золото наиболее широко распространено в россыпи р. Мал. Билелига, а также в низовьях рр. Кундусуг и Чёрной. Коренные источники весьма высокопробного золота в районе не известны. Согласно литературным данным, такое золото типично для руд золото-сульфидно-кварцевой формации больших глубин и реже средних, а также руд золото-теллурического геохимического типа золото-серебряной формации. В весьма высокопробном золоте (>950 ‰) Ag-Au состава района развиты минеральные комплексы мусковит + брейнерит + кварц и герсдорфит + пирит + халькопирит + Se-галенит + алексит ( $PbBi_2Te_2S_2$ ), характерные для коренных руд гидротермальных месторождений березит-лиственитовой формации в базит-гипербазитовых породах. Не исключена связь весьма высокопробного золота с медно-молибденовыми рудопроявлениями девонских вулканоплутонических ассоциаций, достоверно не установленных в районе.

Медистое золото, распространенное в россыпях рр. Кундусуг, Билелиг и Чёрной, встречается в ассоциации с весьма высокопробным золотом Ag-Au состава. Его источником, предположительно, являются перидотиты Куртушубинского офиолитового комплекса или апоультрамафитовые метасоматиты – родингиты, серпентиниты и их лиственитизированные разновидности. Возможно, источником медистого золота в россыпях были медно-молибден-порфиновые проявления нижнего девона. Минеральный комплекс включений в медистом золоте района – эпидот-клиноцоизит + никелин + халькозин. Судя по наличию халькозина в ассоциации с золотом, нижний предел температуры образования минерального комплекса составляет 120–140 °C, а верхний – 320 °C, характерный для золота Cu-Au состава.

Ртутистое золото имеет пробность от 707 до 935 ‰. Относительно низкопробное золото содержит, в среднем, 8.6 % Hg, среднепробное – 3.8 % Hg и высокопробное – 2.7 % Hg. Ртутистое золото широко распространено в среднем течении рр. Бол. Билелиг и Мал. и Бол. Алгияк, а также встречается в среднем течении р. Кундусуг и низовьях рр. Билелиг и Чёрной. Слабозолотоносные кварцевые жилы с киноварью, залегающие среди черных сланцев, отмечались на Октябрьском рудном поле. В частицах золота относительно низкой пробности из россыпей встречаются включения кварца и пылеватые агрегаты минералов кремнезема, серы и серебра. В средне- и высокопробном золоте установлены включения кварца, арсенипирита, хлорита и карбо-

ната. Предполагается, что источником ртутистого золота служили кварц-карбонатные жилы с серебряной и киноварной минерализацией.

Типоморфные различия золота, отмеченные в россыпях района, могут быть использованы в комплексе критериев и признаков коренной рудоносности и при постановке геологоразведочных работ.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Берзон Р.О. (1983ф) Составление карты прогноза на золото южного обрамления Сибирской платформы в м-бе 1 : 500 000. Часть II. Прогнозная карта территории Тувы. АССР: отчет о науч.-иссл. работе. М., ЦНИГРИ, 180 с.
- Богомолов В.Г. Цивилев Г.В., Осипова О.Н. (1955ф) Геологическое строение и полезные ископаемые верховий рек Систиг-Хем и Айна: отчет о науч.-иссл. работе. М., ЦНИГРИ, 268 с.
- Гаськов И.В., Акимцев В.А., Ковалев К.Р., Сотников В.И. (2006) Золотосодержащие минеральные ассоциации месторождений медно-рудного профиля Алтае-Саянской складчатой области. *Геология и геофизика*, 47 (9), 996–1004.
- Гаськов И.В. Прудников С.Г. (2022) Металлогения эндогенного золота Тывы. *Геология и геофизика*, 63 (11), 1566–1582. <https://doi.org/10.15372/GiG2021136>
- Григорьева А.И., Кальниченко С.С., Новиков В.Н. (1969ф) Золотоносные россыпи Систиг-Хемского района Тувинской АССР и их перспективная оценка: отчет по теме В.18.2.В. М., ЦНИГРИ, 200 с.
- Ильенок С.С. (1948ф) Условия золотоносности в Амыло-Систигхемском районе Западного Саяна и в районе рек Хопто, Тапса Центральной Тувы: отчет Тувинской экспедиции за 1947 г. М., Золоторазведка, 52 с.
- Калинин Ю.А., Росляков Н.А., Прудников С.Г. (2006) Золотоносные коры выветривания юга Сибири. Новосибирск, Гео, 339 с.
- Кальниченко С.С. (1972) Эндогенное золотое оруденение и россыпеобразующие рудные формации Восточной Тувы. Дис. на соиск. степ. канд. геол.-мин. наук. М., 174 с.
- Кильчичаков К.М., Русанов А.В., Макиянский С.Н. (1986ф) Поисково-оценочные работы на россыпное золото в долинах рек Алгияк, Билелиг, Черная: отчет Алгиякской партии за 1983–1985 гг. Кызыл, ТГРЭ, 135 с.
- Коробейников А.Ф. (1999) Нетрадиционные комплексные золотоплатиноидные месторождения складчатых областей. Новосибирск, СО РАН, 237 с.
- Крупник В.М., Шашкин В.М., Левин А.Ю. и др. (1992ф) Составление карты золото- и платиноносности с целью совершенствования методики поисков и прогнозной оценки площадей на россыпи на примере Куртушибинского золотоносного пояса: отчет о науч.-иссл. работе по теме 0.50.01.04.02.12.Н.11. М., ЦНИГРИ, 267 с.
- Лаломов А.В., Бочнева А.А., Чефранов Р.М., Чефранова А.В. (2015) Россыпные месторождения Арктической зоны России: современное состояние и пути развития минерально-сырьевой базы. *Арктика: экология и экономика*, 2 (18), 66–77.
- Лебедев В.И. (2018) Полезные ископаемые Тувы и сопредельных территорий. М., Де'Либри, 494 с.
- Макиянский С.Н., Бухаров Н.С., Чернышева О.Г. и др. (1991ф) Детальная разведка россыпей в долине реки Б. Алгияк с переоценкой запасов месторождения Б. Алгияк (с подсчетом запасов по состоянию на 01.07.1991 г.): отчет Алгиякской партии по работам за 1988–1991 гг. Кызыл, ТГРЭ, 288 с.
- Мурзин В.В., Варламов Д.А. (2010) Медистое и медьсодержащее золото в гипербазитах Урала. *Материалы Всероссийской конференции «Самородное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований»*. М., ИГЕМ РАН, 64–66.
- Неволько П.А., Колпаков В.В., Нестеренко Г.В., Фоминых П.А. (2019) Самородное золото аллювиальных россыпей северо-западного Салаира: состав, типы и минеральные микровключения. *Геология и геофизика*, 60 (1), 79–100. <https://doi.org/10.15372/GiG2019005>
- Некрасов И.Я. (1991) Геохимия, минералогия и генезис золоторудных месторождений. М., Наука, 312 с.
- Нестеренко Г.В. (1991) Прогноз золотого оруденения по россыпям: на примере районов юга Сибири. Новосибирск, Наука, 233 с.
- Никифорова З.С., Калинин Ю.А., Макаров В.А. (2020) Эволюция самородного золота в экзогенных условиях. *Геология и геофизика*, 61 (11), 1514–1534. <https://doi.org/10.15372/GiG2020109>
- Новгородова М.И. (1983) Самородные металлы в гидротермальных рудах. М., Наука, 287 с.
- Петровская Н.В. (1973) Самородное золото: Общая характеристика, типоморфизм, вопросы генезиса. Новосибирск, Наука, 347 с.
- Попов В.А., Митус А.И. и др. (1999ф) Геологическое доизучение масштаба 1 : 200 000 в Западном Саяне на Систигхемской площади в пределах листа N-46-XXIX. Отчет Систигхемской геолого-съемочной партии по работам 1991–1999 г. Кызыл, ТГРЭ, 310 с.
- Прудников С.Г. (2004) Закономерности размещения россыпей золота в морфоструктурах Тувы и Западного Саяна. Дис. на соиск. степ. канд. геол.-мин. наук. Новосибирск, 181 с.
- Прудников С.Г., Хертек Ч.М. (2016) Типоморфные признаки самородного золота россыпей Тувы и прилегающих районов Западного Саяна. *Успехи современного естествознания*, 10, 146–151.
- Прудников С.Г., Хертек Ч.М. (2017) Золотоносность Амыло-Систигхемского района Тувы. *Материалы III Всероссийской молодежной школы-конференции «Природные системы и экономика Центрально-Азиатского региона: фундаментальные проблемы и перспек-*

тивы рационального использования». Кызыл, ТувИ-КОПР СО РАН, 46–51.

Прудников С.Г., Хертек Ч.М. (2018) Оценка ресурсов техногенных образований отработанной россыпи Малый Алгияк (Тува). *Успехи современного естествознания*, 2, 129–133. <https://doi.org/10.17513/use.36684>

Прудников С.Г., Хертек Ч.М. (2019а) Оценка техногенных образований отработанных россыпей золота Кара-Хем, Проездной (Тува). *Успехи современного естествознания*, 2, 67–72. <https://doi.org/10.17513/use.37059>

Прудников С.Г., Хертек Ч.М. (2019б) Оценка ресурсов техногенных образований отработанных россыпей золота Тувы. *Материалы III Международной научно-практической конференции «Региональная экономика: технологии, экономика, экология и инфраструктура»*. Кызыл, ТувИКОПР СО РАН, 348–350.

Родыгина В.Г. (2007) Шлиховые поиски и минералогия россыпей (шлиховой метод). 2-е изд. доп. Томск, НТЛ, 404 с.

Русанов А.В. (1987ф) Предварительная разведка россыпей в долине р. Мал. Алгияк (с подсчетом запасов по состоянию на 01.11.1987 г.): отчет Мало-Алгиякской партии по работам за 1986–1987 гг. Кызыл, ТГРЭ, 149 с.

Сазонов А.М., Кирик С.Д., Сильянов С.А. Баюков О.А., Тишин П.А. (2016) Типоморфизм арсенипирита золоторудных месторождений Благодатное и Олимпиада (Енисейский край). *Минералогия*, 3, 53–70.

Скляров Е.В. (1982) Метаморфизм черносланцевых формаций Тувы и Западного Саяна и некоторые вопросы их золотонности. Дис. на соиск. степ. канд. геол.-мин. наук. Улан-Уде, 150 с.

Спиридонов Э.М. (2010) Обзор минералогии золота в ведущих типах Au минерализации. *Труды Всероссийской научной конференции «Золото Кольского полуострова и сопредельных регионов»*. Апатиты, К&М, 143–171.

Спиридонов Э.М., Плетнев П.А. (2002) Месторождение медистого золота Золотая Гора (о «золото-родингитовой» формации). М., Научный мир, 220 с.

Степанов В.А. (2022) Месторождения ртутистого золота. *Разведка и охрана недр*, 7, 3–10. [https://doi.org/10.53085/0034-026X\\_2022\\_07\\_03](https://doi.org/10.53085/0034-026X_2022_07_03)

Тюкпиеков В.А. (2013ф) Информационный отчет по незавершенным поисковым и оценочным работам на Октябрьском золоторудном поле: отчет ПК «АС «Ойна» по работам за 2011–2013 гг. Кызыл, 138 с.

Фельдбарг Н.Е., Захарова Е.М. (1980ф) Отчет о геолого-геоморфологических исследованиях в Амыло-Систигхемском районе Тувинской АССР (в связи с поисками россыпей золота). М., МГУ, 284 с.

Хертек Ч.М., Сазонов А.М. (2022) Катаклаз и метасоматоз частиц детритового золота при гипергенезе. *Материалы XI Всероссийской петрографической конференции «Петрология магматических и метаморфических комплексов»*. Томск, Компания Милон, 150–161.

Хертек Ч.М., Сазонов А.М. (2023) Деформационные и метасоматические преобразования детритового золота при россыпеобразовании. *Руды и металлы*, 4, 37–60. <https://doi.org/10.47765/0869-5997-2023-10020>

Юшко-Захарова О.Е., Иванов В.В., Соболева Л.Н. и др. (1986) Минералы благородных металлов: Справочник. М., Недра, 272 с.

Craw D., Lilly K. (2016) Gold nugget morphology and geochemical environments of nugget formation, southern New Zealand. *Ore Geology Reviews*, 79, 301–315. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.06.001>

Goryachev N.A., Yakubchuk A.S., Litvinenko I.S., Lozhkin A.V., Pruss Yu.V., Smirnov V.N. (2020) Giant placers of the Upper Kolyma gold fields, Yana-Kolyma province, Russian Northeast. *Special Publication of Society of Economic Geologists “Geology of the World’s Major Gold Deposits and Provinces”*, chapter 37, 797–821. <https://doi.org/10.5382/SP.23.37>

Kerr G., Falconer D., Reith F., Craw D. (2017) Transport-related mylonitic ductile deformation and shape change of alluvial gold, southern New Zealand. *Sedimentary Geology*, 361, 52–63. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2017.09.019>

Nakagawa M., Santosh M., Nambiar C.G., Matsubara C. (2005) Morphology and chemistry of placer gold from Attappadi valley, Southern India. *Gondwana Research*, 8 (2), 213–222. [https://doi.org/10.1016/S1342-937X\(05\)71119-9](https://doi.org/10.1016/S1342-937X(05)71119-9)

## REFERENCES

Berzon R.O. (1983) *Unpublished report on compilation of forecast map for gold in the southern frame of the Siberian Platform on a scale of 1 : 500 000. Part II. Forecast map of the territory of Tuvinian ASSR*. Moscow, TsNIGRI, 180 p. (in Russian)

Bogomolov V.G. Tsivilev G.V., Osipova O.N. (1955) *Unpublished report on geological structure and minerals of the upper reaches of the Sistig-Khem and Aina rivers*. Moscow, TsNIGRI, 268 p. (in Russian)

Craw D., Lilly K. (2016) Gold nugget morphology and geochemical environments of nugget formation, southern New Zealand. *Ore Geology Reviews*, 79, 301–315. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.06.001>

Feldbarg N.E., Zakharova E.M. (1980) *Unpublished report on geological and geomorphological study in the Amyl-Sistighem region of the Tuva ASSR (in relation to the prospects for gold placers)*. Moscow, MGU, 284 p. (in Russian)

Gaskov I.V., Akimtsev V.A., Kovalev K.R., Sotnikov V.I. (2006) Gold-bearing mineral assemblages of Cu deposits of the Altai-Sayan fold area. *Geologiya i geofizika (Geology and Geophysics)*, 47 (9), 996–1004. (in Russian)

Gaskov I.V. Prudnikov S.G. (2022) Metallogeny of endogenous gold in Tuva. *Russian Geology and Geophysics*, 63 (11), 1566–1582. <https://doi.org/10.2113/RGG20204299>



- Goryachev N.A., Yakubchuk A.S., Litvinenko I.S., Lozhkin A.V., Pruss Yu.V., Smirnov V.N. (2020) Giant placers of the Upper Kolyma gold fields, Yana-Kolyma province, Russian Northeast. *Special Publication of Society of Economic Geologists "Geology of the World's Major Gold Deposits and Provinces"*, chapter 37, 797–821. <https://doi.org/10.5382/SP.23.37>
- Grigorieva A.I., Kalnichenko S.S., Novikov V.N. (1969) *Unpublished report B.18.2.B. on gold placers of the Sistig-Khem region of the Tuvian ASSR and their prospective assessment*. Moscow, TsNIGRI, 200 p. (in Russian)
- Il'enok S.S. (1948) *Unpublished report of the Tuvian expedition for 1947 on conditions of gold potential in the Amyl-Sistighem region of Western Sayan and in area of the Khopto and Tapsa rivers of Central Tuva*. Moscow, Zolotorazvedka, 52 p. (in Russian)
- Kalinin Yu.A., Roslyakov N.A., Prudnikov S.G. (2006) *Gold-bearing weathering mantles of South Siberia*. Novosibirsk, Geo, 339 p. (in Russian)
- Kalnichenko S.S. (1972) *Endogenous gold mineralization and placer-forming ore complexes of Eastern Tuva*. (Candidate dissertation). Moscow, 174 p. (in Russian)
- Kerr G., Falconer D., Reith F., Craw D. (2017) Transport-related mylonitic ductile deformation and shape change of alluvial gold, southern New Zealand. *Sedimentary Geology*, 361, 52–63. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2017.09.019>
- Khertek Ch.M., Sazonov A.M. (2022) Supergene cataclasis and metasomatism of detrital gold particles. *Materialy XI Vserossiyskoy petrograficheskoy konferentsii "Petrologiya magmaticheskikh i metamorficheskikh kompleksov" (Materials of XI All-Russian Petrographic Conference "Petrology of Igneous and Metamorphic Complexes)*. Tomsk, Kompaniya Milon, 150–161. (in Russian)
- Khertek Ch.M., Sazonov A.M. (2023) Deformation and metasomatic transformations of detrital gold during placer formation. *Rudy i metally (Ores and Metals)*, 4, 37–60. (in Russian) <https://doi.org/10.47765/0869-5997-2023-10020>
- Kilchichakov K.M., Rusanov A.V., Makiyansky S.N. (1986) *Unpublished report of the Algiyak Party for 1983–1985 on prospecting works for placer gold in valleys of the Algiyak, Bilelig, and Chernaya rivers*. Kyzyl, TGRE, 135 p. (in Russian)
- Korobeinikov A.F. (1999) *Unconventional complex gold-platinum deposits of fold areas*. Novosibirsk, SO RAN, 237 p. (in Russian)
- Krupnik V.M., Shashkin V.M., Levin A.Yu. et al. (1992) *Unpublished report on topic 0.50.01.04.02.12.N.11. on compilation of map of Au and Pt potential to improve prospecting and forecast assessment methods of placer areas on example of the Kurtushibinsky gold-bearing belt*. Moscow, TsNIGRI, 267 p. (in Russian)
- Lalomov A.V., Bochneva A.A., Chefranov R.M., Chefranov A.V. (2015) Placer deposits of the Arctic zone of Russia: a current state and ways of development of the mineral resource base. *Arktika: ekologiya i ekonomika (Arctic: Ecology and Economics)*, 2 (18), 66–77. (in Russian)
- Lebedev V.I. (2018) *Mineral resources of Tuva and adjacent territories*. Moscow, De'Libri, 494 p. (in Russian)
- Makiyansky S.N., Bukharov N.S., Chernysheva O.G. et al. (1991) *Unpublished report of the Algiyak Party on works for 1988–1991 on detailed exploration of placers in the valley of the B. Algiyak River with revaluation of reserves of the B. Algiyak deposit (with calculation of reserves as of 07.01.1991)*. Kyzyl, TGRE, 288 p. (in Russian)
- Murzin V.V., Varlamov D.A. (2010) Cuprous and Cu-bearing gold in ultramafic rocks of the Urals. *Materialy Vserossiyskoy konferentsii "Samorodnoe zoloto: tipomorfizm mineralnykh assotsiatsiy, usloviya obrazovaniya mestorozhdeniy, zadachi prikladnykh issledovaniy (Proceedings of All-Russian Conference "Native Gold: Typomorphism of Mineral Assemblages, Formation Conditions of Deposits, and Tasks of Applied Studies)*. Moscow, IGEM RAN, 64–66. (in Russian)
- Nakagawa M., Santosh M., Nambiar C.G., Matsubara C. (2005) Morphology and chemistry of placer gold from Attappadi valley, Southern India. *Gondwana Research*, 8 (2), 213–222. [https://doi.org/10.1016/S1342-937X\(05\)71119-9](https://doi.org/10.1016/S1342-937X(05)71119-9)
- Nevolko P.A., Kolpakov V.V., Nesterenko G.V., Fominykh P.A. (2019) Alluvial-placer gold of Northwestern Salair: composition, types, and mineral microinclusions. *Russian Geology and Geophysics*, 60 (1), 79–100. <https://doi.org/10.15372/RGG2019005>
- Nekrasov I.Ya. (1991) *Geochemistry, mineralogy and genesis of gold deposits*. Moscow, Nauka, 312 p. (in Russian)
- Nesterenko G.V. (1991) *Forecast of gold mineralization in placers: example of South Siberia regions*. Novosibirsk, Nauka, 233 p. (in Russian)
- Nikiforova Z.S., Kalinin Yu.A., Makarov V.A. (2020) Evolution of native gold under exogenous conditions. *Russian Geology and Geophysics*, 61 (11), 1514–1534. <https://doi.org/10.15372/RGG2020109>
- Novgorodova M.I. (1983) *Native metals in hydrothermal ores*. Moscow, Nauka, 287 p. (in Russian)
- Petrovskaya N.V. (1973) *Native gold: general characteristics, typomorphism, questions of genesis*. Novosibirsk, Nauka, 347 p. (in Russian)
- Popov V.A., Mitus A.I. et al. (1999) *Unpublished report of the Sistigkhem Geological Survey Team for 1991–1999 activities on additional geological study on a scale 1:200000 in Western Sayan at the Sistigkhem area within sheet N-46-XXIX*. Kyzyl, TGRE, 310 p. (in Russian)
- Prudnikov S.G. (2004) *Principles of occurrence of gold placers in Tuva and Western Sayan morphostructures*. (Candidate dissertation). Novosibirsk, 181 p. (in Russian)
- Prudnikov S.G., Khertek Ch.M. (2016) Typomorphic features of native gold placers in Tuva and adjacent areas of Western Sayan. *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya*

(*Advances in Current Natural Sciences*), 10, 146–151. (in Russian)

Prudnikov S.G., Khertek Ch.M. (2017) Gold potential of the Amyl-Sistighem region of Tuva. *Materialy III Vserossiyskoy molodezhnoy shkoly-konferentsii "Prirodnyye sistemy i ekonomika Tsentralno-Aziatskogo regiona: fundamentalnye problemy i perspektivy ratsionalnogo ispolzovaniya"* (Proceedings of III All-Russian Youth School-Conference "Natural systems and Economics of the Central Asian Region: Basic Problems and Prospects for Rational Use). Kyzyl, TuvIKOPR SO RAN, 46–51. (in Russian)

Prudnikov S.G., Khertek Ch.M. (2018) Assessment of resources of technogenic complexes of an explored Maly Algiyak placer (Tuva). *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya (Advances in Current Natural Sciences)*, 2, 129–133. (in Russian) <https://doi.org/10.17513/use.36684>

Prudnikov S.G., Khertek Ch.M. (2019a) Assessment of technogenic complexes of explored Kara-Khem and Proezdnoy gold placers (Tuva). *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya (Advances in Current Natural Sciences)*, 2, 67–72. (in Russian) <https://doi.org/10.17513/use.37059>

Prudnikov S.G., Khertek Ch.M. (2019b) Assessment of resources of technogenic complexes of explored gold placers in Tuva. *Materialy III Mezhdunaronoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Regionalnaya ekonomika: tekhnologii, ekonomika, ekologiya i infrastruktura (Proceedings of III International Scientific and Practical Conference "Regional Economics: Technology, Economics, Ecology and Infrastructure)*. TuvIKOPR SO RAN, 348–350. (in Russian)

Rodygina V.G. (2007) *Prospects by panning and mineralogy of placers (panning method)*. Second edition. Tomsk, NTL, 404 p. (in Russian)

Rusanov A.V. (1987) *Unpublished report of the Maly Algiyak Party on works for 1986–1987 on preliminary exploration of placers in the valley of the Maly Algiyak River (with calculation of reserves as of November 1, 1987)*. Kyzyl, TGRE, 149 p. (in Russian)

Sazonov A.M., Kirik S.D., Silyanov S.A. Bayukov O.A., Tishin P.A. (2016) Typomorphism of arsenopyrite from the Blagodatnoe and Olimpiada gold deposits (Yenisei Ridge). *Mineralogiya (Mineralogy)*, 3, 53–70. (in Russian)

Sklyarov E.V. (1982) *Metamorphism of black shale formations of Tuva and Western Sayan and some issues of their gold potential*. (Candidate dissertation). Ulan-Ude, 150 p. (in Russian)

Spiridonov E.M. (2010) Review of gold mineralogy in leading types of Au mineralization. *Trudy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii "Zoloto Kolskogo poluostrova i sopedelnykh regionov"* (Proceedings of All-Russian Scientific Conference "Gold of Kola Peninsula and Adjacent Regions). Apatity, K&M, 143–171. (in Russian)

Spiridonov E.M., Pletnev P.A. (2002) *The Zolotaya Gora cuprous gold deposit (about «gold-rodingite» type)*. Moscow, Nauchny mir, 220 p. (in Russian)

Stepanov V.A. (2022) Deposits of Hg-bearing gold. *Razvedka i okhrana nedr (Prospect and Protection of Mineral Resources)*, 7, 3–10. (in Russian) [https://doi.org/10.53085/0034-026X\\_2022\\_07\\_03](https://doi.org/10.53085/0034-026X_2022_07_03)

Tyukpiekov V.A. (2013) *Unpublished report of the Oyna Prospectors' Artel on unfinished prospecting and assessment works of 2011–2013 at the Oktyabrsky gold ore field*. Kyzyl, 138 p. (in Russian)

Khertek Ch.M., Sazonov A.M. (2022) Supergene cataclasis and metasomatism of detrital gold particles. *Materialy XI Vserossiyskoy petrograficheskoy konferentsii "Petrologiya magmaticheskikh i metamorficheskikh kompleksov"* (Materials of XI All-Russian Petrographic Conference "Petrology of Igneous and Metamorphic Complexes). Tomsk, Kompaniya Milon, 150–161. (in Russian)

Khertek Ch.M., Sazonov A.M. (2023) Deformation and metasomatic transformations of detrital gold during placer formation. *Rudy i metally (Ores and Metals)*, 4, 37–60. (in Russian) <https://doi.org/10.47765/0869-5997-2023-10020>

Yushko-Zakharova O.E., Ivanov V.V., Soboleva L.N. et al. (1986) *Noble metal minerals: a handbook*. Moscow, Nedra, 272 p. (in Russian)

---

### Информация об авторах

Хертек Чайана Март-ооловна – младший научный сотрудник, Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН; аспирант, Сибирский федеральный университет, [chayana83@mail.ru](mailto:chayana83@mail.ru).

Сазонов Анатолий Максимович – доктор геолого-минералогических наук, профессор, Сибирский федеральный университет, [Sazonov\\_am@mail.ru](mailto:Sazonov_am@mail.ru).

### Information about the authors

Chayana M. Khertek – Junior Researcher, Tuvian Institute for Exploration of Natural Resources, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, [chayana83@mail.ru](mailto:chayana83@mail.ru)

Anatoly M. Sazonov – Doctor of Geological–Mineralogical Sciences, Professor, Siberian Federal University, [Sazonov\\_am@mail.ru](mailto:Sazonov_am@mail.ru).