

**МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ
РОССЫПНОГО ЗОЛОТА БАССЕЙНА РЕКИ КЕНГЕВЕЕМ
И ПЕРВЫЕ СВЕДЕНИЯ О СОПУТСТВУЮЩЕЙ
ПЛАТИНОВОМЕТАЛЛЬНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ
(МАГАДАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

© 2023 Е.Д. Скильская, Ш.С. Кудяева

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия, 683006;
e-mail: wideworldscience@gmail.com*

Поступила в редакцию 25.05.2023 г.; после доработки 11.10.2023 г.; принята в печать 25.12.2023 г.

В статье приводятся результаты исследования типоморфных характеристик россыпного золота притоков реки Кенгевеи Магаданской области. Шлихи золота были изучены методами оптической и сканирующей электронной микроскопии в Институте вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. В результате проведенных исследований были получены первые сведения о морфологии, химическом составе и внутреннем строении золота россыпей юго-восточной части полуострова Тайгонос. В россыпях выделено три минеральных типа самородного золота. Первый тип, преобладающий, представлен зернами самородного золота суббруидной морфологии, слабой и средней степени окатанности. В составе самородного золота присутствуют только Au-Ag, других макрокомпонентов не встречено. Пробность самородного золота составляет — 750–950 %. В некоторых золотилах наблюдаются черты гипергенного преобразования, выраженного в развитии высокопробной краевой оболочки и межзерновых прожилков. Второй тип золота представлен хорошо окатанными пластинчатыми выделениями с пробностью 980–990 %. Третий тип — рыхлые агрегаты вторичного высокопробного горчичного золота. Полученные данные позволили определить различную дальность сноса самородного золота и рассматривать в качестве коренных источников малосульфидный эпипермальный Au-Ag тип оруденения, а также источник дальнего сноса, предположительно, связанный с габброидами.

Ключевые слова: россыпное золото, типоморфные характеристики, Магаданская область, полуостров Тайгонос.

ВВЕДЕНИЕ

Определение типоморфных характеристик самородного золота играет важную роль при изучении эндогенных коренных и россыпных месторождений золота. Совокупность типоморфных признаков, таких как формы, размеры, химический состав, особенности внутреннего строения, служит неоспоримым инструментом для реконструкции процессов зарождения, переноса и отложения золота в условиях эндогенного и экзогенного осадконакопления. Наибольший вклад в изучение типоморфизма самородного золота внесла выдающийся советский минералог Н.В. Петровская (Петровская, 1973). На основе ее многочисленных исследований

минералогии и геохимии золота различных месторождений были созданы методические руководства, пособия и рекомендации для геологоразведочных работ (Николаева, 1978, 1985, 1995; Николаева и др., 2003, 2021), которые не теряют своей актуальности и применяются и по сей день. В настоящее время, изучению типоморфных характеристик россыпного и коренного золота посвящено большое количество зарубежных и отечественных публикаций (Глухов и др., 2018; Литвиненко, 2002; Неволько и др., 2019; Никифорова, Каженкина, 2018; Позднякова, 2015; Терехов и др., 2010; Bonev et al., 2002; Stefanova et al., 2014).

Россыпные месторождения представляют собой разрушенные коренные залежи золота.

ГЕОЛОГИЯ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

Вследствие этого изучение типоморфных характеристик россыпного золота играет важную роль в решении вопросов генезиса и поисковых задачах на эндогенное золотое оруденение (Николаева, 1978; Николаева и др., 2003; Николаева, Яблокова, 2007; Позднякова, 2015; Townley et al., 2003). В данной работе представлены результаты изучения типоморфных особенностей золота из россыпей левых притоков реки Кенгевеи (ручьи Базовый, Угловой, Кэт и Виталькин), протекающей на юге полуострова Тайгонос и впадающей в Пенжинскую губу Охотского моря (рис. 1). Проведенные в 2020 г. компанией ООО «Тайгонос» комплексные геологоразведочные работы выявили на изучаемой территории аллювиальные золотоносные россыпи с промышленными параметрами. Отобранные при проведении опробования шлихи золота были переданы авторам данной статьи для изучения. Актуальность настоящего исследования заключается в получении первых данных по типоморфным особенностям россыпного золота бассейна реки Кенгевеи, на основе которых обсуждается продолжительность пребывания золота в россыпи, дальность сноса и тип коренного источника, что может быть использовано при прогнозировании и поиске новых перспективных россыпей и коренных месторождений золота на территории п-ова Тайгонос.

П-ов Тайгонос располагается на территории Магаданской и Камчатской областей. Непосредственно район отбора проб расположен в бассейне реки Кенгевеи, протекающей в юго-восточной части п-ва Тайгонос и впадающей в Пенжинскую губу Охотского моря (рис. 1). Россыпеобразующие формации р. Кенгевеи относятся к Кенгевеи-Явямскому золотороссыпному узлу Восточно-Тайгоносской перспективной площади.

Первые сведения о золотоносности полуострова Тайгонос получены в 1910–1912 гг. С.И. Бачевичем при проведении поисковых и разведочных работ на золотоносные россыпи р. Гижига (Государственная..., 1980). В результате было обнаружено золото в аллювиальных отложениях р. Авековой и ее притоках.

Геологическое строение района определяется его расположением в пределах Южно-Тайгоносского антиклинория, одного из составных частей Пенжинско-Анадырской складчатой зоны, которая протягивается вдоль юго-восточного побережья п-ва Тайгонос. Антиклинорий сложен интенсивно дислоцированными породами каменноугольного, юрского и мелового возрастов, прорванными интрузиями раннемелового и поздне мелового возрастов. На них несогласно

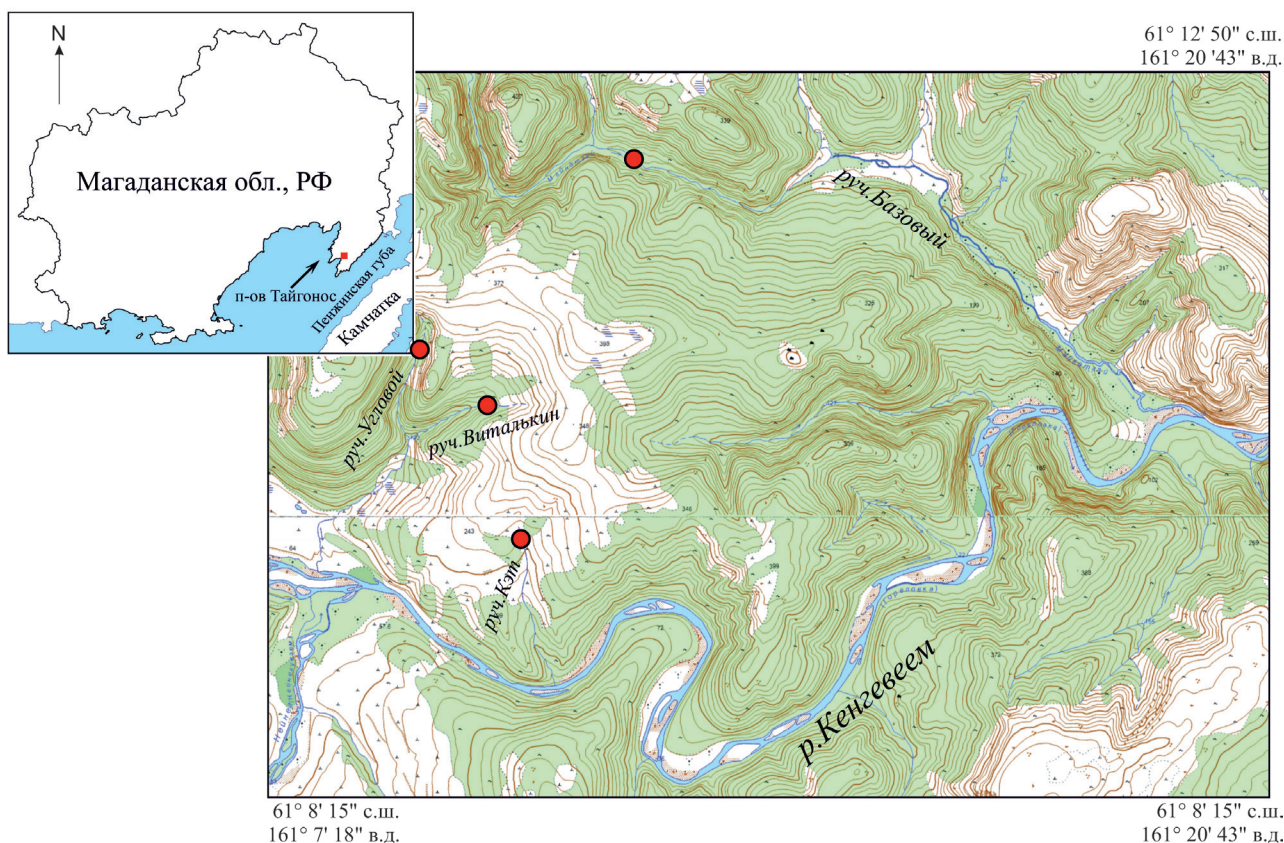


Рис. 1. Карта-схема района исследований (места отбора проб отмечены красным).

Fig. 1. A schematic map of the study area (sampling locations are marked in red).

залегают плиоцен-раннеплейстоценовые и четвертичные отложения (Городинский и др., 2004; Государственная..., 1980).

Неразделенные отложения нижнего карбона представлены метаморфизованными песчаниками, алевролитами и известковистыми пелитовыми породами. Все эти образования в разной степени ороговикованы. Отложения верхней юры представлены аргиллитами, алевролитами, пепловыми черными туфами андезитов, вулканомиктовыми песчаниками, гравелитами, туфопесчаниками, туфогравелитами. Отложения плиоцен-раннеплейстоценовой импувеевской толщи выполняют сохранившиеся фрагменты поверхности выравнивания. Нижняя часть разреза сложена слабо уплотненными конгломератами, песчаниками и песками, верхняя часть — песками с крупной галькой, а также валунами изверженных пород. Нерасчлененные неоплейстоценовые аллювиальные отложения слагают аккумулятивные террасы и чехол смешанных террас. В составе неоплейстоценовых аллювиальных отложений отмечаются галечники с примесью песка и глины, галька и валуны с песком, содержащие линзы супесей и суглинков. Современные отложения представлены: аллювиальными, пролювиальными, элювиальными и склоновыми отложениями (Городинский и др., 2004; Государственная..., 1980).

Долинная и террасовая аллювиальные промышленные россыпи установлены в долине ручья Базовый и его притоков (рис. 1). Долина ручья Базовый меняет свою форму от корытообразной в низовьях до каньонообразной в верховьях. Крутизна склонов изменяется от 30° до 50°. Ширина днища колеблется от 200 до 400 м. Ширина поймы не превышает 20–60 м. Встроении долины выделено две надпойменные террасы (4–6 метровая и 10–12 метровая), носящие смешанный и аккумулятивный характер. Наибольшее скопление аллювиальных отложений отмечается в нижнем течении ручья. В верховьях мощность аллювиальных отложений незначительна. В большом количестве присутствуют крупные валуны и щетки коренных пород (Городинский и др., 2004; Государственная..., 1980).

В районе ручьев Угловой, Кэт и Базовый широко развиты позднемиоценовые интрузивные образования, внедрявшиеся в меловой этап магматической деятельности района (Государственная..., 1980). Большинство массивов представляют собой многофазные интрузии, состав которых меняется от ранних диоритов до поздних гранодиоритов и плагиогранитов.

Собственно коренных месторождений рудного золота в районе полуострова Тайгонос не обнаружено, однако имеются его проявления. Наиболее значимое золоторудное проявление

расположено в правом борту ручья Базовый (рис. 1) — в 9 км от его устья. Гидротермальные образования представлены мономинеральными кварцевыми жилами, которые установлены в развалах или в виде отдельных обломков кварца среди метаморфических, осадочных и вулканогенно-осадочных пород (Городинский и др., 2004).

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Шлихи золота были намывы в верховьях ручьев Виталькин, Кэт, Угловой и Базовый. Дальнейшее изучение химического и минерального состава зерен золота и сопутствующих минералов проводилось в лаборатории вулканогенного рудообразования Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. Детальное описание типоморфных особенностей самородного золота проводилось в соответствии с существующими методическими руководствами (Николаева, 1978, 1985, 1995; Петровская, 1973).

Для изучения таких типоморфных характеристик, как формы, размеры и степень окатанности золотины были первоначально рассмотрены и сфотографированы с помощью стереомикроскопа Stereo Discovery.V12 (Carl Zeiss). Для каждой пробы было отобрано по 10 представительных зерен, имеющих различные размеры и формы. Выбранные зерна приклеивались на углеродную ленту для изучения нанорельефа поверхности самородного золота в режиме вторичных электронов на сканирующем электронном микроскопе (SEM) Tescan Vega 3.

Для изучения особенностей химического состава отдельные зерна самородного золота были запрессованы эпоксидным компаундом и отполированы до достижения безрельфной поверхности. Оптические свойства золотины были изучены с помощью микроскопа Nikon Eclipse LV100 POL, оснащенного цифровой камерой для фотодокументации. Химический состав золота был получен с помощью SEM Tescan Vega 3 с энергетическим спектрометром Oxford Instruments X-Max 80 mm². Условия съемки составили: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток пучка 14 нА. Время накопления 10 сек для всех элементов. Эталоном служили искусственные стандарты штатного комплекса.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведенные исследования позволили получить первые сведения о морфологии, размерах и составе россыпного золота р. Кенгеев. Шлиховое золото претерпело в различной степени механические преобразования, отразившиеся на изменении первичной морфологии золотины, а также химического состава.

Ручей Виталькин. Золото ручья Виталькин представлено слабо- и среднеокатанными зернами с размерами 2–3 мм и менее. Цвет золотин насыщенно желтый. По морфологическим видам выделены: пластинчатые кристаллы, несущие незначительные признаки механической деформации (рис. 2а) и комковидные, гемиидиоморфные индивиды с хорошо обмятыми краями и прижатыми ответвлениями (рис. 2б–г). При этом первичные кристаллографические очертания кристаллов достаточно хорошо различимы. Многочисленные углубления на поверхности зерен заполнены гидроокислами железа и кварцем.

Пробность золота ручья Виталькин меняется в широких пределах от низкопробного 506 ‰ до высокопробного 944 ‰ (рис. 3; табл. 1). В отдельных золотилах отмечаются прерывистые

коррозионные оболочки разной степени интенсивности (рис. 4а–в) и широкое развитие высокопробных прожилков внутри зерен (рис. 4г). Толщина краевых коррозионных оболочек варьирует от нескольких микрон до полусантиметра (рис. 4а–в). Высокопробные прожилки внутри зерен развиваются преимущественно по краям пор или вдоль трещин. Концентрации Au в зонах перекристаллизации составляют 89–97 вес. % (рис. 4в, 4г, 4е, 4ж; табл. 2). Одна из причин образования высокопробных оболочек в россыпном золоте связана с химическим взаимодействием зерен золота с мигрирующими в россыпи растворами (Николаева, 1995; Петровская, 1973). В отраженном свете зоны перекристаллизации маркируются по более насыщенному желтому оттенку (рис. 4а, 4д).

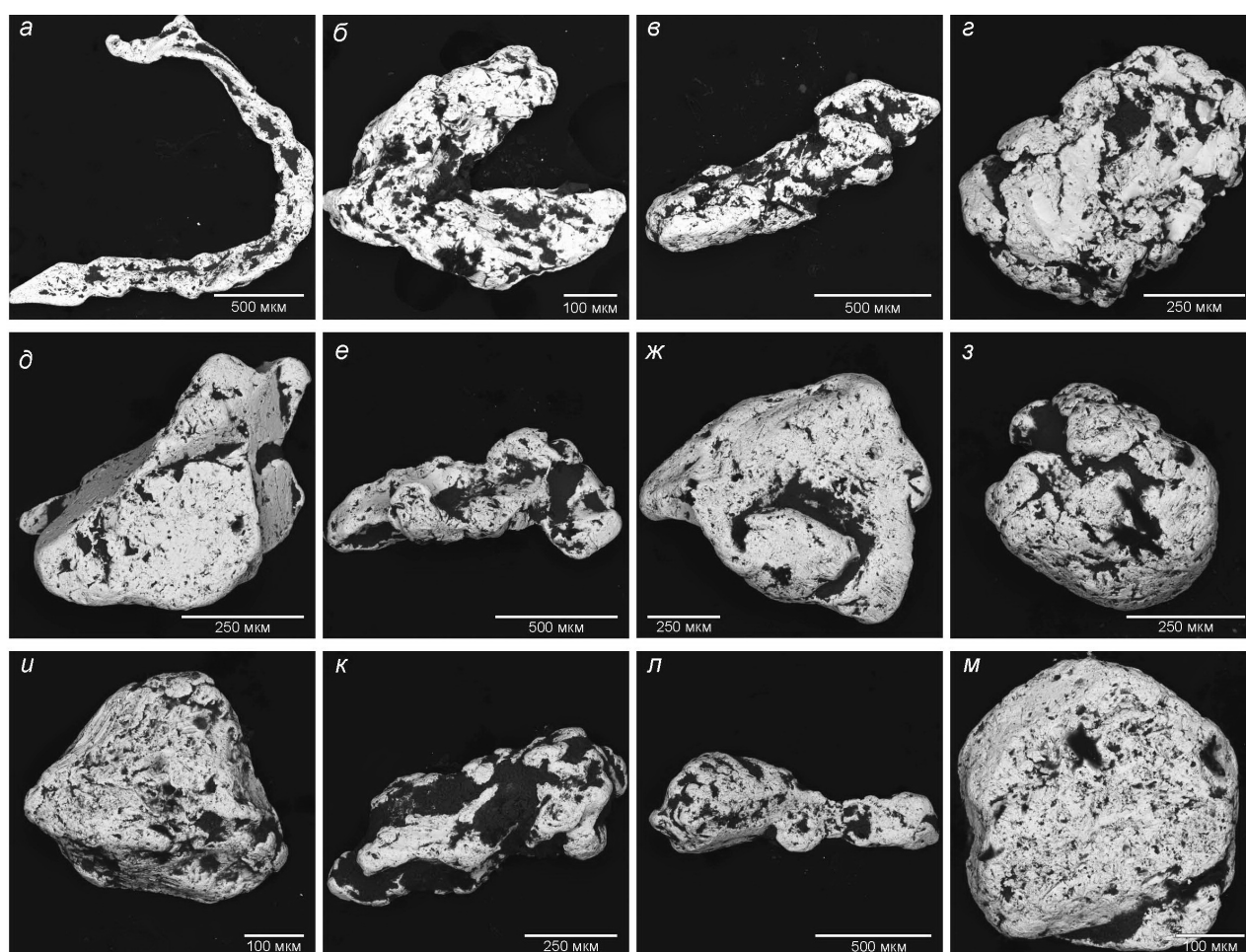


Рис. 2. Электронно-микроскопические фотографии самородного золота бассейна реки Кенгеваем, иллюстрирующие формы, размеры и степень окатанности зерен: а–г — слабо- среднеокатанное золото, ленто-видной (а), гемиидиоморфной (б, в) и комковидной формы с углублениями, выполненными оксидами железа, ручей Виталькин; д–з — слабо- среднеокатанное золото, гемиидиоморфной (д, е) и комковидной формы (ж, з) в тесном сростании с оксидами железа, ручей Кэт; и–м — полу- и среднеокатанное золото с сохранившимися первичными гемиидиоморфными и комковатыми формами, ручей Угловой.

Fig. 2. Microphotographs of the native gold from the Kengeveem River, illustrating grain morphological forms and roundness: а–г — slightly to moderately rounded ribbon-like (а), hemiidiomorphic (б, в) and clumpy with iron oxides-filled depressions forms of gold grains from the Vitalkin stream; д–з — weakly to moderately rounded gold grains with preserved primary hemiidiomorphic (д, е) and clumpy (ж, з) forms from the Kat stream; и–м — semi- to moderately rounded gold grains with preserved initial edges from the Uglovoi stream.

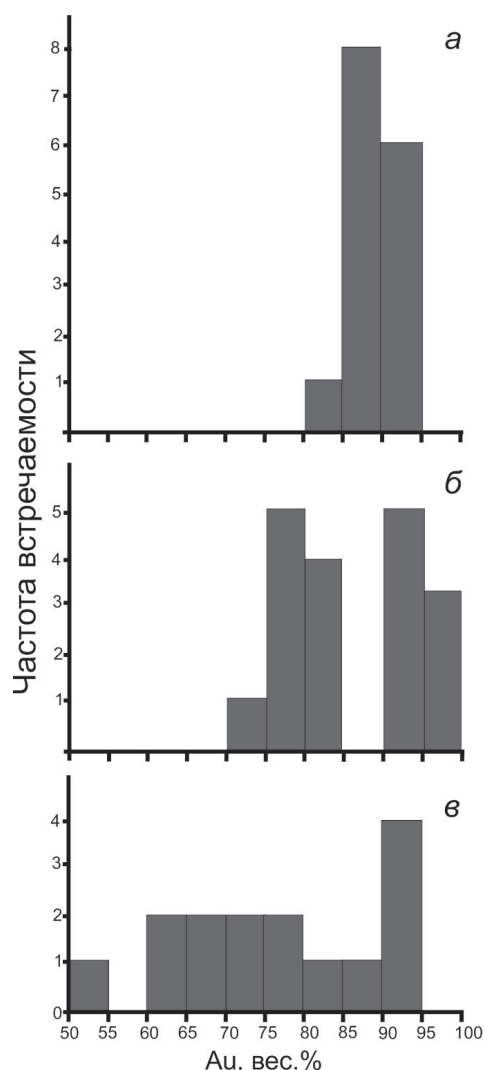


Рис. 3. Гистограммы пробности самородного золота россыпей ручья Угловой (а), Кэт (б), Виталькин (в).

Fig. 3. Histograms of Au concentrations in gold placers from the Uglovoy (a), Kaet (b), and Vitalkin (v) streams.

Ручей Кэт. Золото ручья Кэт представлено сростками несовершенных кристаллов, гемиидиоморфными и комковидными выделениями (рис. 2д–з). Размеры зерен мелкие, обычно не более 1 мм. Цвет золотисто-желтый с металлическим блеском. Степень окатанности меняется от слабой (рис. 2д, 2е) до средней (рис. 2ж, 2з). Золото находится в сростках с кварцем и оксидами железа.

В составе россыпного золота ручья Кэт установлены только Au и Ag (табл. 1). На гистограмме распределения концентраций Au в россыпном золоте ручья Кэт (рис. 3), отмечаются две популяции золота: относительно низкопробное и средней пробности (738–828 ‰), а также весьма высокопробное (930–945 ‰). Некоторые зерна имеют высокопробные каймы и межзерновые прожилки (рис. 4е). Они хорошо видны как в отраженном свете, так и на экране сканирующего электронного микроскопа в режиме

Таблица 1. Химический состав золота россыпей ручьев Виталькин, Кэт, Угловой и Базовый, вес. %

Table 1. Chemical composition of gold from the alluvial deposits of the Vitalkin, Kat, Uglovoy and Bazovyi brooks, wt. %

Ручей	№ анализа	Ag	Au	Сумма
Виталькин	36	49.39	50.61	100.00
Виталькин	27	33.91	66.96	100.87
Виталькин	13	29.08	70.92	100.00
Виталькин	2	14.55	85.45	100.00
Виталькин	41	8.95	91.18	100.13
Виталькин	31	5.45	93.77	99.23
Кэт	30	23.32	78.09	101.41
Кэт	42	7.02	93.68	100.70
Кэт	46	5.5	94.75	100.25
Кэт	73	20.84	76.57	97.40
Кэт	82	20.32	80.17	100.49
Кэт	114	18.57	80.99	99.55
Угловой	36	12.75	87.39	100.14
Угловой	84	11.61	88.63	100.24
Угловой	7	11.47	88.65	100.12
Угловой	56	9.2	90.56	99.76
Угловой	108	5.46	94.03	99.49
Угловой	27	5.78	94.59	100.37
Базовый	3	1.16	98.63	99.79
Базовый	14	0.86	98.39	99.25
Базовый	39	2.35	97.23	99.58
Базовый	42	0.93	99.55	100.48
Базовый	87	1.47	97.80	99.27

обратно рассеянных электронов (рис. 4д). Размер внешних зон перекристаллизации изменяется от небольших каемок до достаточно глубоких заливов вглубь зерна (рис. 4ж). Концентрации Au в таких зонах достигают от 91.2 вес. % до практически чистого (100 вес. %) золота (рис. 4е, 4ж, табл. 2). Состав реликтового золота более низкопробный. Концентрации Au составляют — 79–82 вес. % (рис. 4е, 4ж). Единичные золотины показали неоднородное внутреннее строение. В первичном монозернистом золоте с пробностью порядка 790–800 ‰ выделяются близкие к изометричной форме включения высокопробного золота (980 ‰) (рис. 4з). Такие структуры могут быть связаны с процессами начальной дезинтеграции, возникающими при гидротермальном метаморфизме (Никифорова, Каженикина, 2018; Николаева и др., 2003; Николаева, Яблокова, 2007).

Ручей Угловой. Шлихи ручья Угловой представлены зернами самородного золота размером от 1 мм до 3 мм (в среднем около 1–2 мм). Форма зерен часто изометричная либо вытянутая

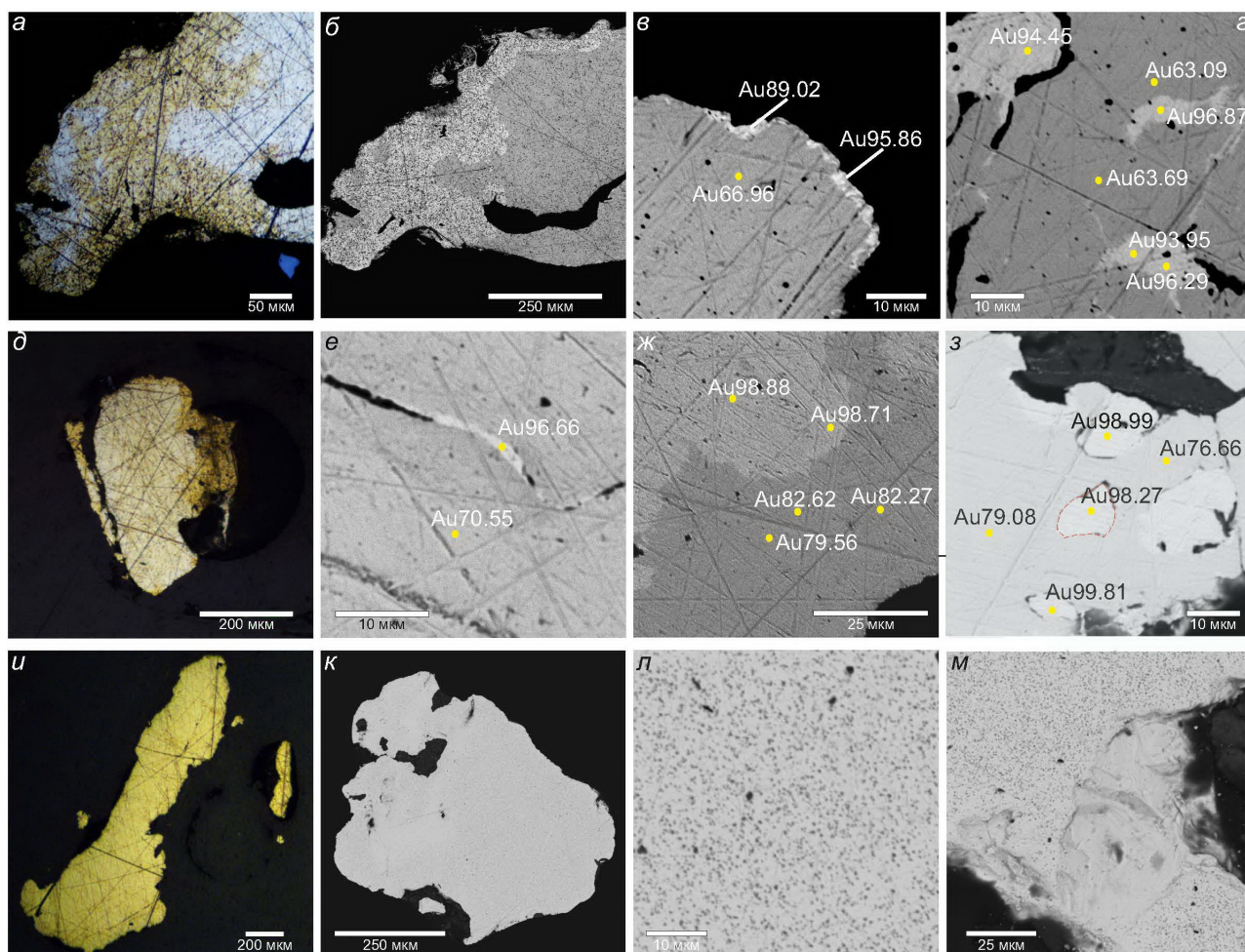


Рис. 4. Особенности внутреннего строения самородного золота бассейна ручьев Виталькин (а–г), Кэт (д–з) и Угловой (и–м). Фото а, д, и сделаны с помощью оптического микроскопа в отраженном свете, остальные фото выполнены в режиме обратно рассеянных электронов на сканирующем электронном микроскопе. а–в — интенсивная (а, б) и слабая (в) коррозионная оболочка в самородном золоте ручья Виталькин; г — межзерновые прожилки в самородном золоте ручья Виталькин; д — высокопробная оболочка в отраженном свете в самородном золоте, ручей Кэт; е–ж — высокопробный прожилок и коррозионная оболочка в россыпном золоте, ручей Кэт; з — включения самородного высокопробного Au в золоте из россыпи ручья Кэт; и–к — однородное внутреннее строение россыпного золота ручья Угловой (Au = 87–90 вес. %); л — пористость в золоте, ручей Угловой; м — сохранившийся отпечаток жильного минерала в золоте россыпи, ручей Угловой.

Fig. 4. The characteristic of the internal structure of native gold from the Vitalkin stream (а–г), Kat stream (д–з) and Uglovoi stream (и–м). Photos а, д, и — by optical microscope in reflecting light, other photos — back-scattering electron images taken by scanning electron microscope. а–в — gold grains showing highly (а, б) and weakly (в) developed gold-rich rims, Vitalkin stream; г — gold-enriched inter-grain veins in native gold, Vitalkin stream; д — high-grade rim in native gold under the reflected light, the Kat stream; е–ж — a high-grade vein and corrosion rim in placer gold from the Kat stream; з — inclusions of high-grade native gold in placer gold from the Kat stream; и–к — homogeneous internal structure of the placer gold from the Uglovoi stream; л — porosity in gold, Uglovoi stream; м — the preserved imprint of a vein mineral in placer gold, Uglovoi stream.

(рис. 2и–м). Цвет ярко-желтый. На поверхности некоторых зерен сохранены отпечатки жильного кварца (рис. 4м).

По химическому составу золото однородное и относится к высокопробному. Содержание Au меняется от 84.4 до 95.0 вес. % (табл. 1). Большинство аналитических точек определения химического состава золота укладываются в достаточно узкий диапазон значений: от 85 до 95 вес. % Au (рис. 3а). Отличительная черта золота ручья

Угловой — постоянство химического состава и отсутствие зон перекристаллизации.

Ручей Базовый. В шлиховых пробах ручья Базовый были диагностированы зерна самородной платины, самородного золота, сульфидов железа, титаномагнетит, самородное железо, кварц, аметистоподобный кварц, гранат (спескартин-альмандин).

Самородное золото представлено зернами различной формы с вариативными размерами.

Таблица 2. Химический состав реликтового золота и зон перекристаллизации в золоте россыпей ручьев Виталькин и Кэт, вес. %

Table 2. Chemical composition of relic gold and recrystallization zones in gold of alluvial deposits from the Vitalkin and Ket brooks, wt. %

Ручей	№ зерна	Неизменное золото			Коррозионная оболочка		
		Au	Ag	Сумма	Au	Ag	Сумма
Виталькин	4	65.91	30.25	96.16	97.71	2.21	99.91
Виталькин	5	66.96	33.91	100.87	95.86	4.33	100.18
Виталькин	7	50.61	49.39	100.00	95.25	4.91	100.16
Виталькин	7	64.99	33.78	98.77	96.87	2.82	99.69
Виталькин	9	71.26	28.74	100.00	96.96	3.43	100.38
Виталькин	9	70.92	29.08	100.00	95.69	4.31	100.00
Виталькин	9	83.50	17.36	100.85	96.62	3.38	100.00
Кэт	12	78.09	23.32	101.41	96.08	2.56	98.64
Кэт	18	73.03	25.80	98.84	96.66	4.65	101.31
Кэт	19	76.57	20.84	97.40	99.04	1.81	100.86
Кэт	20	80.17	20.32	100.49	97.16	2.18	99.34
Кэт	22	79.56	18.26	97.81	98.71	1.53	100.25
Кэт	22	80.99	18.57	99.55	97.54	2.95	100.50
Кэт	23	84.18	17.48	101.66	97.88	1.61	99.49

В шлихах присутствуют как хорошо окатанные зерна пластинчатой формы с грубошагреневой поверхностью, так и слабоокатанные комковидные и гемиидиоморфные золотины (рис. 5а–г). Хорошо окатанные золотины расплющены до тонких пластин. Края золотин часто примяты, а поверхность трещиновата (рис. 5а, 5б). Размеры пластинчатого золота составляют порядка 5–6 мм. Золотины субрудного облика с обмятыми округлыми краями и прижатыми ответвлениями характеризуются мелкими размерами (2–3 мм), средней степенью окатанности (рис. 5в, 5г) и находятся в сростании с нерудными минералами. По составу все золото высокопробное (980–990‰). Кроме Au и Ag других химических элементов не обнаружено (табл. 1).

Гипергенное золото. В россыпи ручья Базовый установлено золото гипергенной природы.

Вторичное золото отличается от первичного структурой. Оно представляет собой рыхлые агрегаты с сильно трещиноватой поверхностью (рис. 5д, 5е). Пробность вторичного золота высокая — 980–990 ‰.

Платина представлена хорошо окатанными зернами с размерами до 1–2 мм (рис. 5и, 5к). При изучении зерен на сканирующем электронном микроскопе установлено, что самородная платина относится к твердому раствору, отвечающему составу Pt_3Fe , что согласно классификации Л.Дж. Кабри и С.Е. Фезера (Cabri, Feather 1975) относится к изоферроплатине (табл. 3). Pt-Fe сплавы часто содержат включения состава Pt-Sb-Pd-Rh.

Пирит присутствует в виде отдельных кубических кристаллов и их шароподобных сростаний (рис. 5н, 5о). По химическому составу

Таблица 3. Химический состав минералов платины золотоносной россыпи ручья Базовый, вес. %

Table 3. Chemical composition of platinum-group minerals from the gold-bearing placer of the Basic Creek, wt. %

П.п.	№ анализа	Rh	Pt	Pd	Fe	Sb	Сумма
1	9	0.00	90.7	0.00	9.15	0.00	99.85
2	17	0.00	90.88	0.00	8.84	0.00	99.72
3	20	0.00	90.22	0.00	9.24	0.00	99.46
4	53	0.00	90.76	0.00	9.23	0.00	99.99
5	54	0.00	91.26	0.00	9.08	0.00	100.34
6	24	7.06	46.13	10.71	0.47	36.04	100.42
7	35	6.52	50.23	10.14	1.18	34.3	102.37

Примечание. Анализы 1–5 — изоферроплатина; анализы 6–7 — включения в Pt-Fe сплав.

Note. 1–5 analysis — isoferroplatinum; 6–7 analysis — inclusions in the Pt-Fe alloy.

выделено две разновидности: стехиометричный и мышьяксодежащий пирит с As до 1.3 вес. % (рис. 5о).

Самородное железо с содержанием Fe 100.16–100.45 вес. % образует сложные по строе-

нию агрегаты, содержащие мелкие сферические выделения оксидов железа (рис. 5р). Оксиды железа (Fe 68–74 вес. %) встречаются как включения в самородном железе, так и в виде отдельных шариков (рис. 5п).

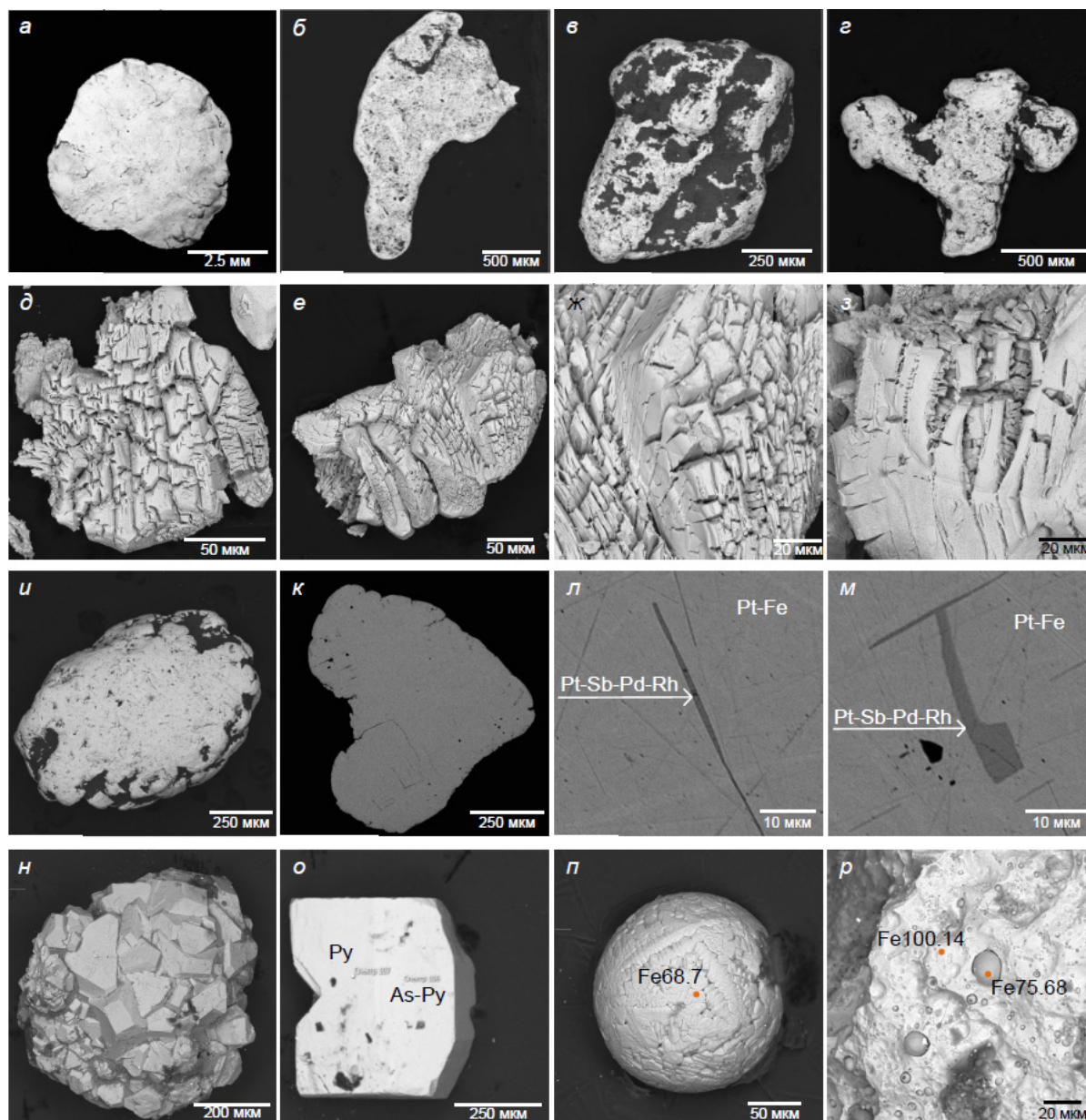


Рис. 5. Электронно-микроскопические фотографии самородного золота и сопутствующих минералов россыпи руч. Базовый, выполненные в режиме обратно рассеянных электронов на сканирующем электронном микроскопе: а–б — хорошо окатанное пластинчатое золото с грубошагреневой поверхностью; в–г — среднеокатанное золото в сростании с кварцем (черное); д–е — гипергенное (горчичное) золото; ж–з — детали строения поверхности горчичного золота; и–к — формы выделения самородной изоферроплатины; л–м — включения состава Pt-Sb-Pd-Rh (темно-серое) в изоферроплатине; н — шаровидное сростание гипидиоморфных кристаллов пирита; о — фрагмент поверхности; п — шарик оксида железа; р — включения Fe_2O_3 (серое) в самородном железе.

Fig. 5. Back-scattered electron images taken by scanning electron microscope of native gold and associated minerals from placer deposit of the Bazovyi stream. а–б — well-rounded lamellar gold grains with a rough shargreened surface; в–г — medium-rounded gold intergrown with quartz (black); д–е — supergene (mustard) gold; ж–з — details of the mustard gold surface; и–к — isoferroplatinum; л–м — inclusions of Pt-Sb-Pd-Rh (dark gray) in isoferroplatinum; н — spherical intergrowth of hypidiomorphic pyrite crystals; о — surface fragment; п — sphaera of iron oxide; р — inclusion of Fe_2O_3 (gray) in native iron.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Россыпное золото ручьев Виталькин, Кэт и Угловой обладает рядом схожих типоморфных признаков. В соответствии с классификациями (Николаева и др., 2003; Петровская, 1973) золото относится к видимому классу средне-крупной размерности. По степени окатанности оно практически сопоставимо (табл. 4). Для золотин отмечаются умеренная уплощенность и средняя степень окатанности, выраженная в легком изменении форм зерен, обмятии краев и примятии ответвлений (рис. 2). Отличительными признаками являются химический состав и особенности внутреннего строения. В шлихах ручья Базовый у россыпного золота наблюдаются качественно иные индикаторные признаки.

Степень истирания и окатанности, как индикаторы дальности переноса золота. Одним из важных показателей дальности переноса золота в россыпи считается индекс уплощенности (истирания) и степень окатанности (Петровская, 1973; Knight et al., 1999). В работе (Knight et al., 1999) приводятся убедительные доказательства прямой зависимости степени уплощенности и окатанности зерен золота от дальности сноса. По их данным, наиболее интенсивные процессы расплющивания кристаллов золота до лепешкообразных выделений начинаются на удалении более пяти километров от коренного источника. Зерна золота приобретают окатанные формы в непосредственной близости от выхода коренных тел, примерно в пределах первых трех километров (Knight et al., 1999). Считается, что процесс сплющивания кристаллов золота начинается только у хорошо окатанных золотин (Петровская, 1973). Таким образом, по степени уплощенности и окатанности золота можно судить о дальности сноса.

Россыпное золото ручьев Виталькин, Кэт и Угловой характеризуется слабо-средней окатанностью и неодинаковой округленностью выступов (рис. 2). Наличие зерен золота с округленными угловатыми выступами и различной субрудной морфологией можно использовать как критерий близости коренного источника и небольшой транспортировки россыпного материала.

Степень окатанности золота из россыпи ручья Базовый меняется от практически идеальной до средней (рис. 5а, 5г). Идеально окатанные золотины с плоскими формами указывают на длительную эволюцию в россыпи и значительное удаление от коренного источника (рис. 5а, 5б). Золото «рудного облика» россыпи ручья Базовой (рис. 5в, 5г) находит много общего с россыпным золотом ручьев Виталькин, Кэт и Угловой (рис. 2).

Таблица 4. Типоморфные признаки россыпного золота реки Кенгевеем
Table 4. Typomorphic characteristics of the alluvial gold from the Kengeveem river

Ручей	Окатанность	Уплощенность	Пробность, %	Мощность высокопробных кайм, мм	Сопутствующие минералы	Предполагаемая дальность сноса	Предполагаемый коренной источник
Виталькин	слабо- и средняя	слабая	506-944	До 5 мм	Не установлены	не менее 5 км	малосульфидные золото-кварцевые руды
Кэт	слабо- и средняя	слабая	738-945	До 5 мм	Не установлены	не менее 5 км	малосульфидные золото-кварцевые руды
Угловой	слабая	слабая	840-950	Не выявлены	Не установлены	не менее 5 км	малосульфидные золото-кварцевые руды
Базовый	от слабой до сильной	от слабой до сильной	980-990	Не выявлены	Платина, пирит, титаномагнетит, самородное железо	Более 5 км	Источник, связанный с габброидами

Морфологические формы зерен сопоставимы, а степень искажения незначительная, что позволило нам сделать вывод о непродолжительном пребывании золота в экзогенных условиях, близости к коренному источнику.

Химический состав золота и высокопробные оболочки. В россыпном золоте ручьев Виталькин и Кэт ярко проявлены процессы электрохимической коррозии и объемные процессы диффузии серебра, выраженные в образовании краевых высокопробных каемок различной мощности и межзерновых прожилков (рис. 4). Такие преобразования свойственны золоту зоны гипергенеза и могут лишь усиливаться в россыпях. Степень гипергенных преобразований в россыпном золоте ручьев Виталькин и Кэт незначительна, и, вероятнее всего, формировалась под действием процессов выветривания первичных руд.

Большинство изученных зерен золота показывает высокопробный состав, однако в россыпях ручьев Виталькин и Кэт присутствует также золото низкой и средней пробности (рис. 3). Различия в пробности остаточного золота могут указывать на возраст, тип и глубину залегания размываемых источников питания россыпей (Петровская, 1973). Единственным признаком, объединяющим россыпное золото всех изученных россыпей, является отсутствие других элементов-примесей в составе золота кроме серебра, что косвенно подтверждает тезис о едином коренном источнике. Таким образом, россыпи ручьев Виталькин, Кэт, Угловой допустимо были образованы из общего генетического источника. Наличие в россыпях золота низкой и средней пробы может быть связано с глубиной залегания размываемых коренных тел.

В россыпи ручья Базовый установлены две разновидности золота: первичное и вторичное горчичное. Первичное коренное золото имеет пробность близкую к пробности россыпного золота ручья Угловой — 900–950 ‰ (рис. 3), что может служить дополнительным признаком единства первичного источника.

Предположительные генетические источники. Коренные месторождения золота на юге полуострова Тайгонос не установлены. В долине р. Кенгеев имеются выходы развалов кварцевых жил в борту ручья Базовый и зоны гидротермально-измененных пород (рис. 1).

Суббрудная морфология и средняя степень окатанности зерен золота россыпей Виталькин, Кэт и Угловой свидетельствует о непродолжительной транспортировке в русле россыпи и незначительной удаленности от коренного источника. Используя критерии Дж.Б. Найта (Knight et al., 1999) можно предположить, что расстояние до коренных источников составляет не менее 5 км. Наличие высокопробных краевых

кайм и межзерновых прожилков в золоте ручьев Виталькин и Кэт свидетельствует о поступлении золота из зоны гипергенеза. В россыпном золоте ручья Угловой не отмечаются признаки гипергенного преобразования, на основании этого факта можно сделать вывод о том, что источником питания служили разрушающиеся первичные золото-кварцевые руды.

Простой химический состав россыпного золота реки Кенгеев и отсутствие элементов-примесей делает его схожим с золотом эпitherмальных золото-серебряных месторождений Камчатки (Андреева, Кудаева, 2013; Округин и др., 2014; Скильская и др., 2015; Okrugin, Skil'skaia, 2020). Таким образом, возможным источником россыпного золота могли служить малосульфидные кварцевые жилы.

Россыпное золото ручья Базовый имеет качественно отличительные минералого-геохимические признаки. По морфологии, степени окатанности и уплощенности выявлены два вида золота: хорошо окатанные расплюснутые золотины и зерна с сохранившимися признаками первичного кристаллического строения (рис. 5а–г). Кроме того, наличие гипергенного золота в шлихах указывает на поступление золота из окисленных руд. Таким образом, для россыпного золота ручья Базовый установлены три независимых источника коренного золота. При этом, среднеокатанное золото суббрудного облика (рис. 5в, 5г) по своим типоморфным признакам сопоставимо с золотом россыпей ручьев Виталькин, Кэт и Угловой и могло образоваться из единого генетического источника. Таким источником могут служить мономинеральные кварцевые жилы, локализованные в правом борту ручья Базовый (рис. 1). Уплощенные золотины с высокой степенью окатанности были образованы из источника дальнего сноса, предположительно, связанного с габброидами.

Генетический источник платины в россыпи ручья Базовый и его связь с золотом остается неизвестна.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Золото россыпей реки Кенгеев п-ва Тайгонос представлено следующими разновидностями: хорошо окатанными высокопробными пластинчатыми выделениями с высокой пробностью; средне окатанными гемиидиоморфными и комковидными зернами монозернистого строения с широким диапазоном пробности; зернами с неоднородным внутренним строением (высокопробные оболочки, межзерновые прожилки, неоднородное пятнистое строение) и гипергенным вторичным золотом. По химическому составу все золото простое, включающее

только серебро в качестве элемента-примеси. Преобладает высокопробное золото.

Учитывая изложенные факты, можно сделать вывод, что россыпное золото бассейна реки Кенгеевом поступало из несколько разнотипных генетических источников: кварцевые мало-сульфидные жилы наподобие эпitherмальных месторождений Камчатки, зона гипергенеза и неустановленный источник дальнего сноса.

Авторы благодарят И.В. Матюшкина за предоставленный материал и возможность проведения исследований.

Статья подготовлена в рамках планов НИР лаборатории вулканогенного рудообразования ИВиС ДВО РАН.

Список литературы [References]

- Андреева Е.Д., Кудяева Ш.С.* Типоморфизм самородного золота Балхачского рудного узла (Камчатка) // Исследования в области наук о Земле. Материалы XI региональной молодежной научной конференции, 26 ноября 2013 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2013. С. 5–18 [*Andreeva E.D., Kudaeva Sh.S.* Typomorphism of native gold from the Balkhach ore cluster (Kamchatka) // Research in the Earth Sciences. Proceedings of the XI regional youth scientific conference, November, 26, 2013. Petropavlovsk-Kamchatsky: IVS FEB RAS, 2013. P. 5–18 (in Russian)].
- Глухов А.Н., Савва Н.Е., Буляков Г.Х. и др.* Самородное золото в рудах и россыпях Глухаринского узла, Магаданская область // Руды и металлы. 2018. № 2. С. 55–65 [*Glukhov A.N., Savva N.E., Bulyakov G.Kh. et al.* Native gold in ores and placers of the Glukharinsk knot, Magadan region // Ores and metals. 2018. № 2. P. 55–65 (in Russian)].
- Городинский М.Е., Полярус В.К., Полярус Л.А.* Промежуточный отчет о результатах работ по теме «Анализ россыпной золотеносности территории Магаданской области с целью планирования и лицензирования поисковых работ на россыпное золото». Магадан: ТФИ по Магаданской обл., 2004. 116 с. [*Gorodinsky M.E., Polyarus V.K., Polyarus L.A.* Interim report on the results of work on the topic «Analysis of placer gold content in the territory of the Magadan region for the purpose of planning and licensing prospecting for placer gold». TFI in the Magadan region, 2004. 116 p. (in Russian)].
- Литвиненко И.С.* Россыпные месторождения золота Омчакского узла. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2002. 92 с. [*Litvinenko I.S.* Alluvial gold deposits in the Omchak knot. Magadan: SVKNII FEB RAN, 2002. 92 p. (in Russian)].
- Литвиненко И.С., Шилина Л.А.* Гипергенные новообразования золота из россыпных месторождений Нижне-мякитского рудно-россыпного поля, Северо-Восток России // Руды и металлы. № 1. 2017. С. 75–90 [*Litvinenko I.S., Shilina L.A.* Placer gold deposit in the Nizhne-myakitsky ore-placer field, North-East of Russia // Ores and Metals. №. 1. 2017. P. 75–90 (in Russian)].
- Неволько П.А., Колпаков В.В., Нестеренко Г.В. и др.* Самородное золото аллювиальных россыпей Северо-Западного Салаира: состав, типы и минеральные микровключения // Геология и геофизика. 2019. Т. 60. №1. С. 79–100 [*Nevolko P.A., Kolpakov V.V., Nesterenko G.V. et al.* Native gold from the alluvial deposits of the North-Western Salair: composition, types and mineral micro-inclusions // Geology and Geophysics. 2019. V. 60. № 1. P. 79–100 (in Russian)].
- Государственная геологическая карта СССР. Масштаб 1:200000. Серия Магаданская. Листы Р-57-XXIX, XXX, XXVIII, XXXV: Объяснительная записка. М. 1980. 119 с [State geological map of the USSR. Scale 1:200000. Magadan series. Sheets P-57-XXIX, XXX, XXVIII, XXXV: Explanatory note. M. 1980. 119 p (in Russian)].
- Николаева Л.А.* Генетические особенности самородного золота как критерии при поисках и оценке руд и россыпей. М.: Недра, 1978. 101 с. [*Nikolaeva L.A.* Genetic features of native gold as criteria in the search and evaluation of ores and placer gold deposits. Moscow: Nedra, 1978. 101 p. (in Russian)].
- Николаева Л.А.* Методическое руководство по изучению самородного золота при геологоразведочных работах. М.: ЦНИГРИ, 1985. 25 с. [*Nikolaeva L.A.* Methodological guide to the study of native gold during geological exploration. Moscow: TsNIGRI, 1985. 25 p. (in Russian)].
- Николаева Л.А.* Методы интерпретации результатов изучения россыпного самородного золота // Руды и металлы. 1995. № 2. С. 51–54 [*Nikolaeva L.A.* Methods of the interpretation the results of the study of placer native gold // Ores and metals. 1995. №. 2. P. 51–54 (in Russian)].
- Николаева Л.А., Гаврилов А.М., Некрасова А.Н. и др.* Типоморфизм самородного золота. Методические рекомендации для геологоразведочных работ. М.: ЦНИГРИ, 2003. 70 с. [*Nikolaeva L.A., Gavrilov A.M., Nekrasova A.N. et al.* Typomorphism of native gold. Guides for exploration works. Moscow: TsNIGRI, 2003. 70 p. (in Russian)].
- Николаева Л.А., Гаврилов А.М., Некрасова А.Н. и др.* Атлас самородного золота рудных и россыпных месторождений России. М.: ЦНИГРИ, 2003. 184 с. [*Nikolaeva L.A., Gavrilov A.M., Nekrasova A.N. et al.* Atlas of the native gold from ore and placer deposits in Russia. Moscow: TsNIGRI, 2003. 184 p. (in Russian)].
- Николаева Л.А., Яблокова С.В.* Типоморфные особенности самородного золота и их использование при геологоразведочных работах // Руды и металлы. 2007. № 6. С. 41–57 [*Nikolaeva L.A., Yablokova S.V.* Typomorphic features of native gold and its use in geological exploration // Ores and metals. 2007. №. 6. P. 41–57 (in Russian)].
- Николаева Л.А., Гаврилов А.М., Некрасова А.Н. и др.* Типоморфизм самородного золота. Методические рекомендации для геологоразведочных работ. М.: ЦНИГРИ, 2021, 85 с. [*Nikolaeva L.A., Gavrilov A.M., Nekrasova A.N. et al.* Typomorphism of native gold. Guides for exploration works. Moscow: TsNIGRI, 2021. 85 p. (in Russian)].

- Никифорова З.С., Каженкина А.Г. Типоморфизм россыпного золота Хатырхайского рудно-россыпного узла (Верхнеамгинская площадь) // Природные ресурсы Артики и Субартики. 2018. Т. 24. № 2. С. 39–48 [Nikiforova Z.S., Kazhenkina A.G. Typomorphism of the alluvial gold of the Khatyrkhay ore-placer cluster (Verkhneamginskaya area) // Natural Resources of the Artiki and Subartiki. 2018. V. 24. № 2. P. 39–48 (in Russian)].
- Никифорова З.С., Калинин Ю.А., Макаров В.А. Эволюция самородного золота в экзогенных условиях // Геология и геофизика. 2020. Т. 61. № 11. С. 1514–1534 [Nikiforova Z.S., Kalinin Yu.A., Makarov V.A. Evolution of native gold in exogenous conditions // Geology and Geophysics. 2020. V. 61. № 11. P. 1514–1534 (in Russian)].
- Округин В.М., Андреева Е.Д., Яблокова Д.А. и др. Новые данные о рудах Агинского золото-теллуридного месторождения (Центральная Камчатка) // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы XVII региональной научной конференции, посвящённой Дню вулканолога, 27–28 марта 2014 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2014. С. 334–340 [Okrugin V.M., Andreeva E.D., Yablokova D.A. et al. New data on the ores of the Aginsky gold-telluride deposit (Central Kamchatka) // Volcanism and related processes. Proceedings of the XVII annual scientific conference dedicated to the Volcanologist Day, March, 27–28, 2014. Petropavlovsk-Kamchatsky: IVS FEB RAS, 2014. P. 334–340 (in Russian)].
- Петровская Н.В. Самородное золото (общая характеристика, типоморфизм, вопросы генезиса). М.: Наука, 1973. 347 с. [Petrovskaya N.V. Native gold (general characteristics, typomorphism, issues of genesis). Moscow: Nauka, 1973. 347 p. (in Russian)].
- Позднякова Н.Н. Использование типоморфных признаков россыпного золота при прогнозировании и поисках рудных месторождений (на примере россыпей Шахтаминского района Забайкалья и россыпи р. Чай-Юрья Магаданской области): Автореф. дисс. канд. геол.-мин. наук. Москва, 2015. 27 с. [Pozdnyakova N.N. The use of typomorphic features of placer gold in forecasting and prospecting for ore deposits (on the example of placers in the Shakhtaminsky district of Transbaikalia and placers of the Chai-Yurya River in the Magadan Region): Thesis diss. cand. geol.-min. sciences. Moscow, 2015. 27 p. (in Russian)].
- Скильская Е.Д., Округин В.М., Кудаева Ш.С. и др. Формы нахождения золота в рудах вулканогенных гидротермальных месторождений Центральной Камчатки // Новое в познании процессов рудообразования. Материалы Пятой Российской молодежной научно-практической Школы с международным участием, 23–24 ноября 2015 г. Москва: ИГЕМ РАН, 2015. С. 214–218 [Skil'skaia E.D., Okrugin V.M., Kudaeva Sh.S., et al. Forms of gold occurrence in ores of volcanogenic hydrothermal deposits in Central Kamchatka // New in the knowledge of ore formation processes. Proceedings of the Fifth Russian youth scientific and practical school with international participation, November, 23–24, 2015. Moscow: IGEM RAS. 2015. P. 214–218 (in Russian)].
- Терехова А.В., Молчанов А.В., Шатов В.В. и др. Типоморфизм самородного золота из кайнозойских отложений руч. Горелый и его связь с коренными источниками в пределах Верхнеамгинского рудно-россыпного узла (Южная Якутия) // Региональная геология и металлогения. 2016. № 65. С. 93–103 [Terekhova A.V., Molchanov A.V., Shatov V.V. et al. Typomorphism of native gold from Cenozoic deposits of the Gorely stream and its relationship with primary sources within the Verkhneamginsky ore-placer cluster (South Yakutia) // Regional geology and metallogeny. 2016. № 65. P. 93–103 (in Russian)].
- Шило Н.А. Учение о россыпях: Теория россыпеобразующих рудных формаций и россыпей. Владивосток: Дальнаука, 2002. 576 с. [Shilo N.A. The doctrine of placers: The theory of placer-forming ore formations and placers. Vladivostok: Dalnauka, 2002. 576 p. (in Russian)].
- Bonev I., Kerestedjian T., Atanassova R. et al. Morphogenesis and composition of native gold in the Chelopech volcanic-hosted Au-Cu epithermal deposit, Srednogoria zone, Bulgaria // Mineralium Deposita. 2002. № 37. P. 614–629. <https://doi.org/10.1007/s00126-002-0273-8>
- Cabril L.J., Feather C.E. Platinum-iron alloys: a nomenclature based on a study of natural and synthetic alloys // Canadian Mineralogist. 1975. V. 13. № 2. P. 117–126.
- Knight J.B., Morison S.R., Mortensen J.K. The Relationship between placer gold particle shape rimming, and distance of fluvial transport as exemplified by gold from the Klondike District, Yukon Territory, Canada // Economic Geology. 1999. V. 94. № 5. P. 635–648.
- Mudaliar G.G., Richards J.P., Eccles D.R. Gold, platinum and diamond placer deposits in alluvial gravels, Whitecourt, Alberta. Special report 89. Alberta Energy and Utilities Board, 2007. 24 p.
- Okrugin V.M., Skil'skaia E.D. Mineralogy and fluid inclusions study of the Baranovskoye gold-silver deposit, central Kamchatka, Russia // Earth Science Frontiers. 2020. V. 27. № 5. P. 136–150. <https://doi.org/10.13745/j.esf.sf.2020.5.58>
- Townley B., Maksaev V., Palacios C. et al. Gold grain morphology and composition as an exploration tool: Application to gold exploration in covered areas // Geochemistry Exploration Environment Analysis. 2003. V. 3. № 1. P. 29–38. <https://doi.org/10.1144/1467-787302-042>
- Stefanova V., Serafimovsky T., Tasev G. Morphological and chemical characteristics of the placer gold deposits from MeckinDol, locality BorovDol, Eastern Macedonia // Tehnika. 2014. V. 69. № 3. P. 409–415. <https://doi.org/10.5937/tehnika1403409S>

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ
**MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS
AND CHEMICAL COMPOSITION OF PLACER GOLD
FROM THE KENGEVEY RIVER BASIN AND FIRST DATA
ON ASSOCIATED PLATINUM-METAL MINERALIZATION
(MAGADAN REGION)**

E.D. Skilskaya, Sh.S. Kudaeva

Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, 683006

Received May 25, 2023; revised October 11, 2023; accepted December 25, 2023

The paper presents the results of the study of typomorphic characteristics of placer gold of the tributaries of the Kengeveem River, Magadan region. Placer gold was studied by optical and scanning electron microscopy at the Institute of Volcanology and Seismology of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences. As a result, the first information on the morphology, internal structure and chemical composition of placer gold from the southeastern part of the Taigonos Peninsula was obtained. Three types of the gold were determined. The first type is dominant. The grains are characterized by sub-ore morphology, with weak and medium degrees of roundness. Only Au-Ag is present in the composition of native gold, other macrocomponents were not found. The gold grade is 750–950 ‰. Some gold grains bear signs of hypogene transformation, expressed in the development of high-grade gold rims and intergrain veins. The second type of gold is represented by well-rounded lamellar extractions with a grade of 980–990 ‰. The third type is loose aggregates of secondary high-grade mustard gold. The obtained data allowed us to determine the different drift distances of native gold and to consider the low-sulfide epithermal Au-Ag mineralization and presumably far-distant gabbroids as the primary sources of gold.

Keywords: placer gold, typomorphic characteristics, Magadan region, Taigonos Peninsula.