

УДК 553.411(571.66)

НЕКОТОРЫЕ ТИПОМОРФНЫЕ ОСОБЕННОСТИ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА ПРИБРЕЖНО-МОРСКИХ ПЛЯЖЕВЫХ РОССЫПЕЙ ЮГО-ЗАПАДНОЙ КАМЧАТКИ

© 2010 В.Е. Кунгурова, В.А. Степанов

Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН,
г. Петропавловск-Камчатский, 683002; e-mail: kunwe@rambler.ru

Изучены некоторые типоморфные особенности самородного золота пляжевых россыпей юго-западной Камчатки. Выделены 2 морфотипа золота. К первому относится золото, имеющее уплощенную, пластинчатую, чешуйчатую форму размером $< 0.07 - 0.5$ мм, хорошо окатанное, умеренно высокопробное. Второй тип представлен более крупным золотом размером 0.1-2 мм, комковатым, стружковидным, скрученным, с плохо окатанной, покрытой бороздами поверхностью, которое характеризуется более низкой пробой. В золотилах пляжевых россыпей установлено наличие высокопробной оболочки мощностью 10-70 мк, структур зародышевой, частичной и полной рекристаллизации. Состав и элементы-примеси самородного золота свидетельствуют о наличии разных источников сноса.

Ключевые слова: золото, прибрежно-морские россыпи, высокопробная оболочка, элементы-примеси.

ВВЕДЕНИЕ

Прибрежно-морские пляжевые россыпи юго-западной Камчатки – реальный источник сырья для извлечения золота и других ценных компонентов: магнетита, ильменита, граната.

Этот тип полезных ископаемых является одним из наиболее доступных, ценных, а также возобновляемым. Незначительные затраты при эксплуатации данного типа сырья даже при небольших запасах обеспечивают их высокую рентабельность, несмотря на незначительную долю (около 5%) в балансе мировой добычи золота (Шило, 2000). Среди прибрежно-морских россыпей важное место в ряде стран занимают пляжевые, успешно эксплуатируемые в США, Канаде, Австралии, Новой Зеландии. В России перспективные районы – это побережье Приморского края (о. Аскольд, бухта Тинкан) и юго-западной Камчатки.

Разработка подобных россыпей на рассматриваемой территории сдерживается главным образом недостатком достоверной информации о характере распределения промышленных содержаний, размерности, формах и составе самородного золота, а также отсутствием технологий извлечения золота размером 0.1 мм и менее.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Нами изучено геологическое строение пляже-

вых прибрежно-морских титано-магнетитовых золотоносных россыпей юго-западной Камчатки: от мыса Левашова до устья р. Кихчик (рис. 1) и исследованы типоморфные особенности самородного золота. Проведены полевые, аналитические и камеральные работы. Полевые работы включали детальное геологическое и геоморфологическое картирование на западном побережье Камчатки, отбор 98 проб, их минералогический анализ с выделением под

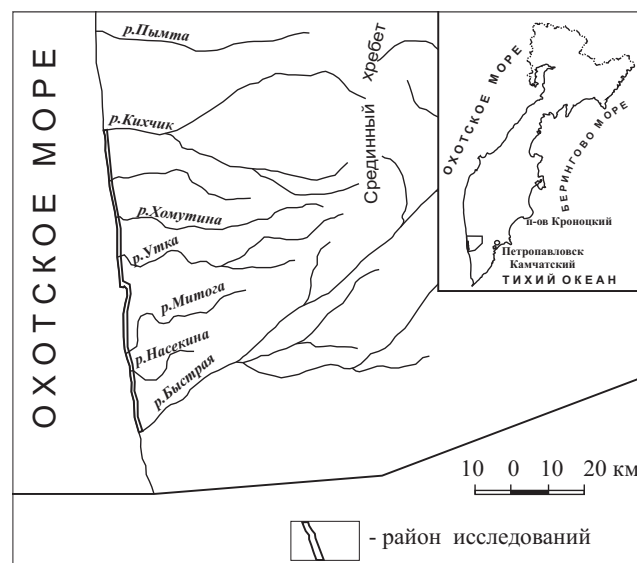


Рис.1. Обзорная карта района исследований

бинокляром самородного золота в лаборатории Научно-исследовательского геотехнологического центра ДВО РАН. Проба золота определена атомно-абсорбционным анализом в Центральных лабораториях ОАО «Камчатгеология» (г. Петропавловск-Камчатский) и ОАО «Амургеология» (г. Благовещенск). Определение элементов-примесей в золоте выполнено полуквантитативным спектральным анализом методом испарения из канала электрода в Центральной лаборатории ОАО «Амургеология». Чувствительность анализа составляет (в $n \times 10^{-4} \%$): Pb – 5, Ag – 100, Cu – 5, Zn – 10, Co – 0.5, Hg – 1000, Fe – 0.01. Состав и внутреннее строение золотин изучались на рентгеноспектральном микроанализаторе Jeol JXA-1800 при напряжении 20 Кв и силе тока 1×10^{-8} А; стандартами являлись чистые металлы, химические соединения и минералы из набора стандартов фирмы «ОКСФОРД». Фотографии золотин выполнены на аналитическом сканирующем электронном микроскопе марки ZEISS EVO 50XVP в Дальневосточном геологическом институте ДВО РАН (г. Владивосток).

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

Район исследования пляжевых россыпей юго-западной Камчатки в тектоническом отношении входит в состав Большерецкого выступа, являющегося частью Западно-Камчатского прогиба. В геологическом строении района принимают участие главным образом кайнозойские образования. Наиболее древние отложения – это верхнеплиоценовые галечники энеметенской свиты. Фрагментарно на участках береговых обрывов (под ледниковыми отложениями) обнажаются плиоцен-нижнеплейстоценовые аллювиальные пески и конгломераты с песчано-гравийным заполнителем. Четвертичные отложения представлены ледниковым, водно-ледниковым валунно-галечно-суглинистым материалом, а также озерно-болотными торфяными и аллювиальными образованиями. Современные пляжевые отложения характеризуются чередующимися прослоями песков, гравия, гальки.

В геоморфологическом плане территория побережья – это низменная приморская равнина. Современная береговая зона состоит из совокупности аккумулятивных и абразионных форм, подверженных волновому воздействию. Она включает подводный береговой склон, современные береговые аккумулятивные формы, приключенные и прислоненные пляжи, а также абразионные обрывы высотой до 10–20 м (Беспалый, Черепанов, 1970). Слабовыпуклый профиль абразионно-аккумулятивных пляжей осложняется развитием одной или нескольких

аккумулятивных низкоуровневых террас, представляющих собой невысокие (до 0.5 м) пологие валы, сложенные песчано-гравийным материалом.

Современные прибрежно-морские золотоносные образования юго-западной Камчатки, совместно с донными осадками Охотоморского бассейна – замыкающее звено сложного многостадийного геологического процесса деструкции горных сооружений Камчатки. Они образованы в результате суммарного действия активных гидро- и литодинамических процессов в ходе переработки промежуточных коллекторов – золотоносных образований, поступающих при размыве и обрушении береговых форм рельефа и подводного берегового склона (Беспалый, Черепанов, 1970; Кононов, Кунгурова, 2005). Коренные источники золота, поставляющие его в промежуточные коллекторы, представлены многочисленными рудопроявлениями и пунктами минерализации золоторудной и золотосодержащей формаций Камчатского срединного массива. Данная минерализация пространственно и генетически связана с интрузивными комплексами: верхнемеловым кольским плагиогранит-диоритовым (золото-кварцевая и золото-сульфидная формации), верхнемеловым (эоценовым?) дукукским кортландит-ортопироксенит-габбро-норитовым (сульфидная медно-никелевая формация), нижнемиоценовым лавкинским гранодиоритовым, характеризующимся широким развитием зон пропилитизации, вторичных кварцитов (золото-сульфидная, медно-порфировая формации) (Карта..., 1999).

Прибрежно-морские пляжевые россыпи в пределах исследуемой береговой зоны – это линейно вытянутые, сложнопостроенные образования (мощностью 0.1–4.5 м), состоящие из чередующихся слоев разнозернистого песка, гравия, гальки и концентрата тяжелых минералов в ассоциации с самородным золотом (Кононов, Кунгурова, 2005; Трухин и др., 2008). Концентрат представляет собой естественный гранат-магнетитовый золотоносный шлик, имеет мощность 1–10 см, количество его слоев в разрезе колеблется от 1 до 7. Наибольшие содержания самородного золота (до 1925 мг/м³) выявлены непосредственно на поверхности пляжа вдоль береговой линии (район р. Митога). На этом участке в целом по разрезу отмечается его неравномерное распределение. Относительно высокие концентрации (до 1 г/м³) обнаружены в захороненных слоях естественного шлика мощностью первые сантиметры на глубине от 1 до 3.5 м.

Золотосодержащие участки установлены в двух зонах пляжа: фронтальной, где развиты крупнопесчано-гравийно-галечные отложения

с пироксен-магнетит-кварцевой ассоциацией и тыловой (приклифовой), к которой приурочены средне-мелкопесчаные осадки с магнетит-пироксен-гранатовой минеральной ассоциацией (рис. 2). Наиболее перспективными являются участки абразионного берега с абразионно-аккумулятивными пляжами, в приклифовой зоне которых реализуются условия для накопления и сохранения концентратов тяжелых минералов и самородного золота.

ТИПОМОРФНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЗОЛОТА

Размеры золота варьируют от < 0.07 до 2 мм, единичные зерна достигают 4-5 мм; толщина пластинчатых и таблитчатых выделений колеблется от 0.02 до 0.15 мм при среднем значении 0.06 мм. Согласно классификации Н.В. Петровской (1973), оно относится к пылевидному, очень мелкому, мелкому, среднему. При этом в одной пробе, как правило, присутствуют выделения всех классов крупности (Кононов, Кунгурова, 2001).

Форма частиц золота, в основном, уплощенная. Преобладают золотины лепешковидные, чешуйчатые, пластинчатые (рис. 3а, 3б), таблитчатые, овально-вытянутые (рис. 3в), встречаются также комковидные и толстоплитчатые индивиды (3г). Практически полностью отсутствуют губчатые и дендритовидные выделения.

В отдельных пробах часты находки скрученных, стружковидных, изогнутых и хлопьевидных выделений, покрытых грубыми штрихами

и бороздами, зеркалами скольжения (рис. 3д). Известно, что такими формами и характером поверхности обладает золото водно-ледникового континентального происхождения. Оно характерно для областей, подвергшихся оледенению (Петровская, 1967, 1973).

Золотины чешуйчатой и хорошо окатанной лепешковидной, таблитчатой формы, имеют чистую, слабошероховатую, мелкоямчатую поверхность. Такой облик имеют, как правило, выделения в собственно морских россыпях.

Большая часть золотин имеет совершенно окатанный облик. Плохо окатанное комковатое золото связано с волновым разрушением пород в обнажениях клифа и подводного склона.

Нередко поверхность золотин покрыта прерывистой либо плотной пленкой гидроокислов железа; иногда золото находится в лимонитовой «рубашке» красновато-бурого или желто-зеленого цвета (рис. 3е). В углублениях и ямках поверхности золотин зачастую обнаруживаются вкрапления кварца и других минералов.

Золото имеет ярко-желтый, соломенно-желтый, бледно-желтый с серебристым отливом цвет, реже желтый с красноватым оттенком. Бледно-желтым цветом обладают скрученные, стружковидные, изогнутые, реже комковидные выделения.

В результате исследований выделены следующие морфотипы золота:

– размером от < 0.07 до 0.75 мм, хорошо окатанное, имеющее уплощенную, пластинчатую, чешуйчатую форму, чаще всего умеренно

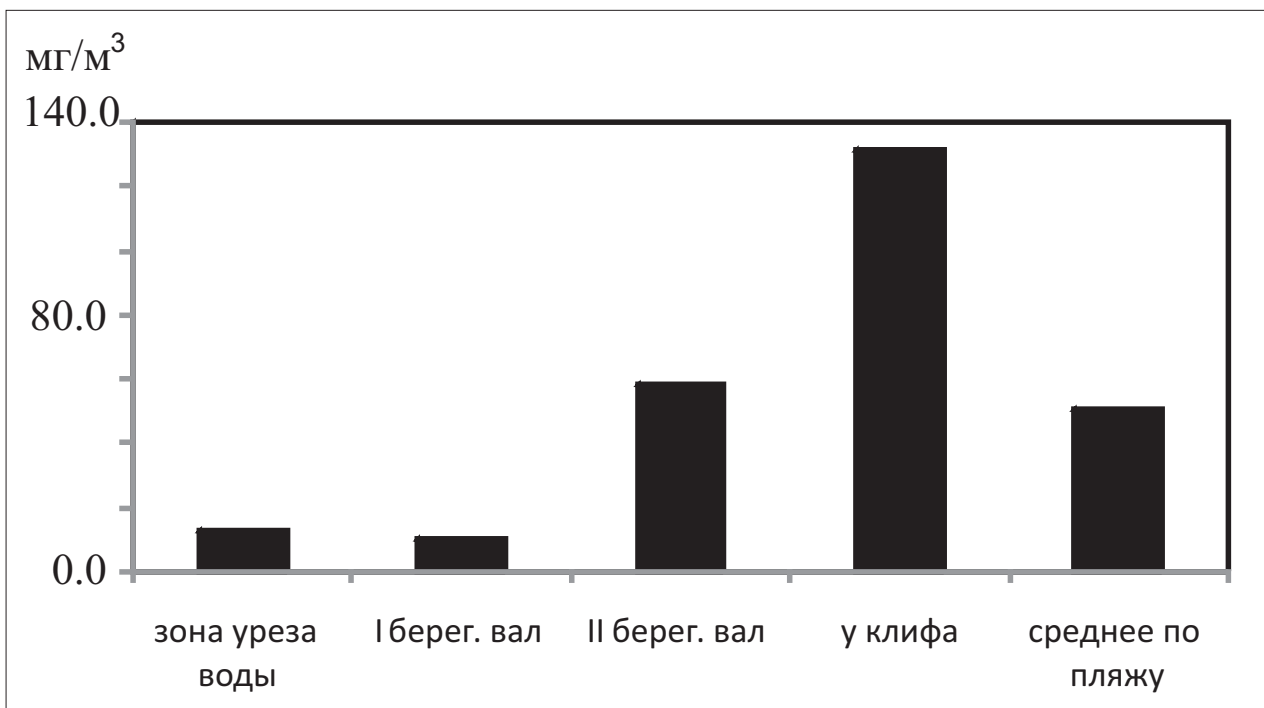


Рис. 2. Диаграмма средних содержаний самородного золота на различных геоморфологических элементах пляжа юго-западной Камчатки

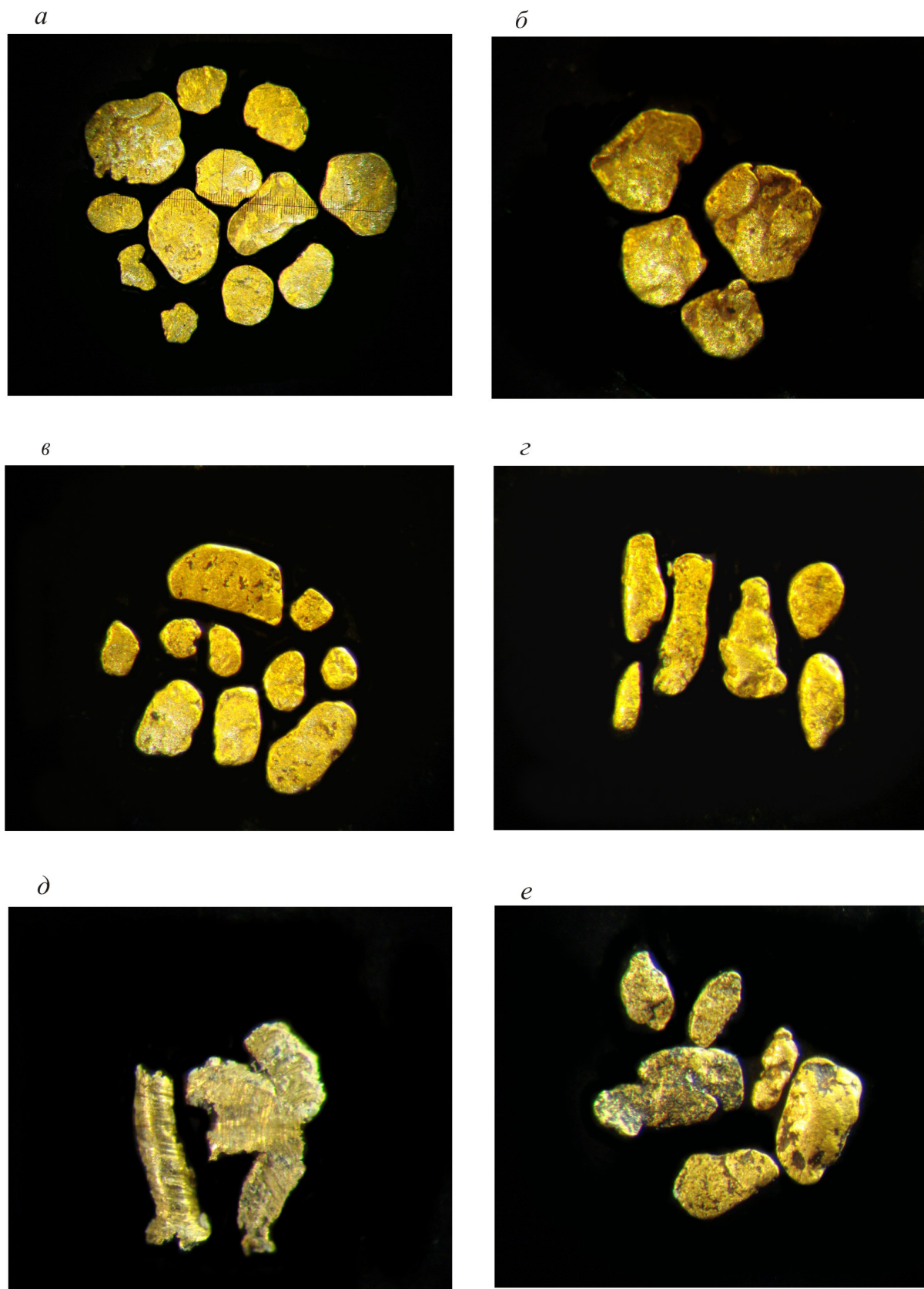


Рис. 3. Самородное золото пляжевых россыпей юго-западного побережья Камчатки: *а, б* – хорошо окатанное лепешкообразное, пластинчатое, чешуйчатое с шероховатой поверхностью (увел. $\times 25$); *в* – округленно-таблитчатое с вкрапленниками кварца, с мелкоямчатой и шероховатой поверхностью (увел. $\times 25$); *г* – толстоплитчатые, удлиненные комковидные зерна со слабошероховатой поверхностью (увел. $\times 30$); *д* – стружковидные частицы с концентрическими и продольными бороздами срезания (увел. $\times 17$); *е* – различной формы, с пленкой гидроокислов железа на поверхности и в углублениях (увел. $\times 25$).

НЕКОТОРЫЕ ТИПОМОРФНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

высокопробное (средняя проба – 866; разброс от 828 до 962 ‰);

– более крупное, размером 0.1 – 2.0 мм, комковатое, стружковидное, скрученное, с плохо окатанной, покрытой бороздами поверхностью, которое характеризуется более низкой пробой (средняя – 811; разброс от 702 до 832 ‰).

Пылевидное, очень мелкое и мелкое золото связано большей частью с волновым разрушением золотосодержащих обломков пород, абрадируемых в береговом уступе и на подводном склоне. Такие размеры позволяют золоту данного типа легко переноситься вдоль береговыми потоками, создавая общий золотоносный фон на пляжах побережья юго-западной Камчатки.

Проба золота варьирует от 702 до 962 ‰. По данным В.А. Семенко (1975), колебания пробы золота еще более значительны – от 606 до 972 ‰. На исследуемом участке пляжа средняя проба золота уменьшается с юга на север – от 881 в районе р. Быстрая до 799 ‰ в районе устья р. Кихчик. Широкий диапазон значений пробы, в совокупности с другими типоморфными признаками, может свидетельствовать о различных типах источников золота, продуцирующих россыпи на пляже.

Проведены исследования пробы золотин не только из прибрежно-морских пляжевых россыпей, но и из различных рудопоявлений, россыпных месторождений, промежуточных коллекторов на пути транзита самородного золота от Камчатского срединного массива к побережью. Проба его возрастает от рудопоявлений и аллювиальных россыпей ближнего сноса к

береговой зоне (рис. 4), а содержание элементов-примесей уменьшается. Это происходит за счет образования в золотилах россыпей береговой зоны высокопробных оболочек, очищения их от примесей, увеличением доли более мелкого золота в этих россыпях по сравнению с таковым областей питания.

Почти во всех зернах самородного золота прибрежно-морских пляжевых россыпей отмечается окаймляющая их оболочка с неоднородной внутренней структурой. Впервые высокопробные каймы золота россыпей описаны М.С. Фишером (Fisher, 1935). Высокопробная оболочка исследуемых золотин имеет розоватый цвет, мощность от 1-3 до 10-70 мк, в среднем составляя 10-20 мк (рис. 5, таблица). Она, как правило, образует непрерывные периферические каймы, изменяющиеся по мощности в разных частях зерна. Зоны высокопробного золота зачастую окаймляют внутренние полости зерен в виде моховидных, прожилкообразных, неправильной формы образований по площади зерен. Проба золота в оболочках колеблется в пределах 978.1-997.8 ‰; в центральных же, реликтовых частях зерен она значительно меньше: 689-866 ‰. Границы оболочки высокопробного золота с внутренней частью золотины четкие, неровные, часто зубчатые, иногда с резкими выступами к центру зерна золота (рис. 5, 6), что можно расценивать как признаки разрастания ее за счет первичных золотин. Внешние контуры высокопробных оболочек крайне неровные, извилистые, порой бахромоподобные, что свидетельствует о тонкой пористости приповерхностного наружного слоя зе-

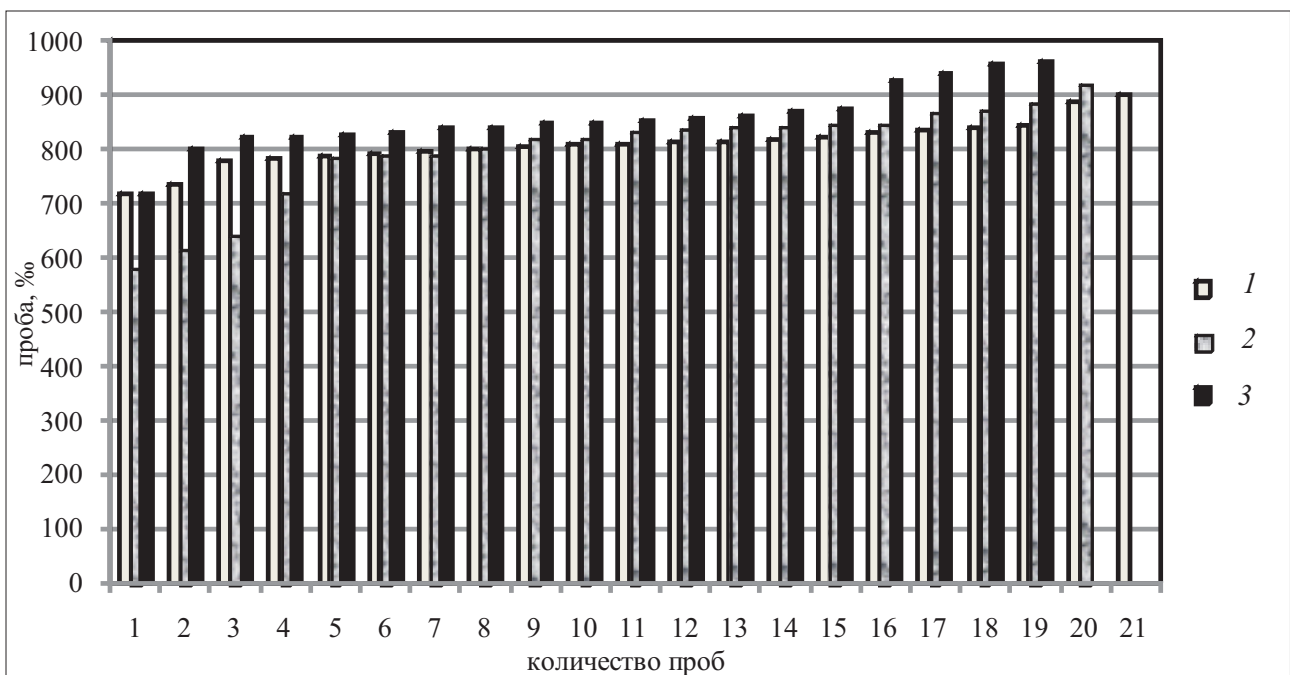


Рис. 4. Гистограмма пробы золота из коренных источников (1), аллювиальных (2) и прибрежно-морских пляжевых россыпей (3).

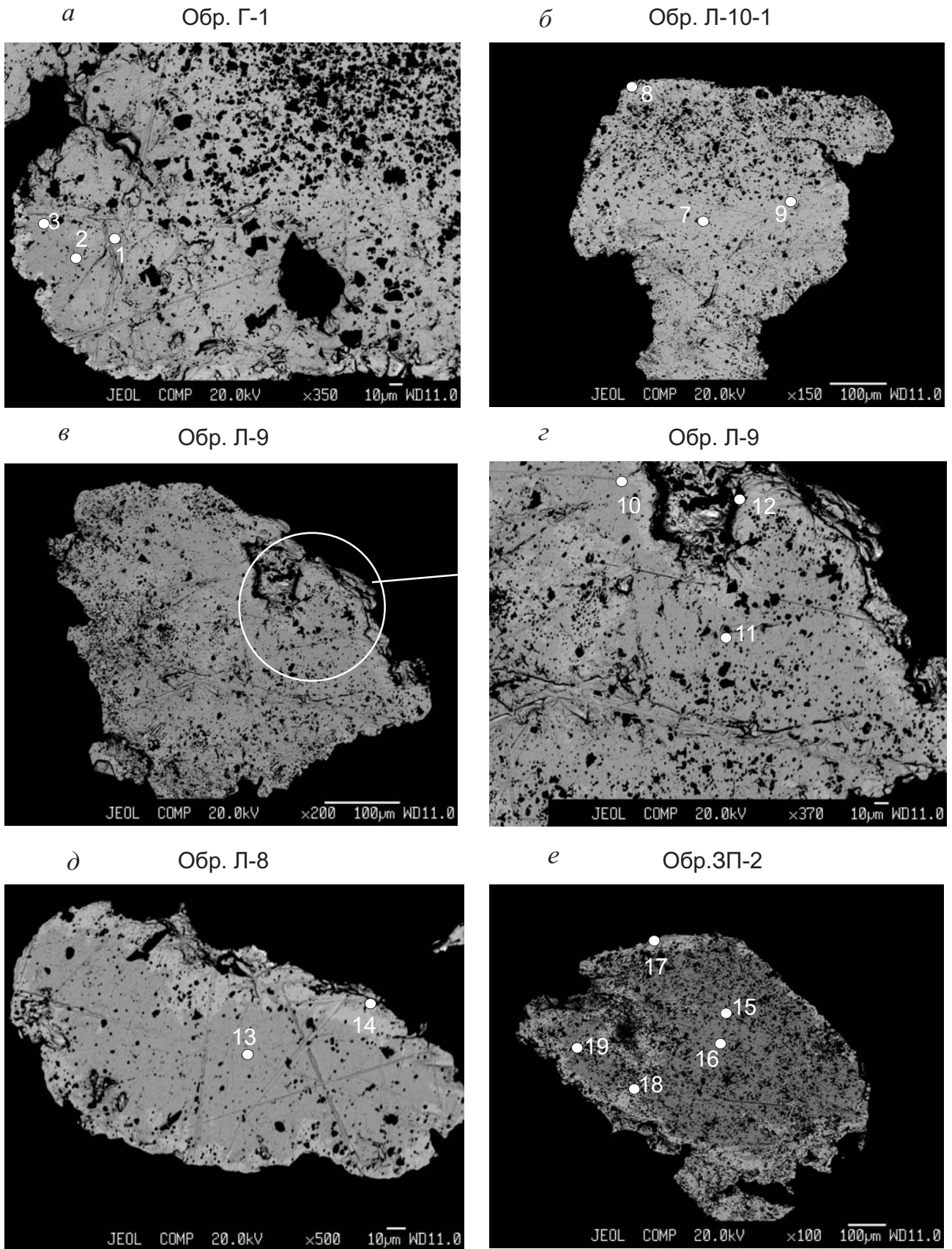


Рис. 5. Самородное золото из прибрежно-морских россыпей с высокопробной оболочкой: присутствуют структуры с двойниками (*а, б, в, г, д*), видны структуры скольжения и деформации (*в, д*), рекристаллизация золота в краевых частях и у изгибов золотинок (*в, г, е*).

НЕКОТОРЫЕ ТИПОМОРФНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

Химический состав самородного золота

№ образца, точки анализа	Ag	Au	Сумма
	масс. %		
Г-1			
Т. 1	14.34	83.63	97.97
Т. 2	30.86	68.4	99.25
Т. 3	1.29	98.56	99.85
Л-10-1			
Т. 7	14.0	85.42	99.42
Т. 8	1.98	98.11	100.09
Т. 9	17.0	82.08	99.08
Л-9			
Т.10	13.11	85.18	98.29
Т.11	13.72	86.08	99.8
Т.12	1.46	97.88	99.34
Л-8			
Т.13	15.86	84.82	100.69
Т.14	1.13	100.73	101.86
ЗП-2			
Т.15	27.46	70.22	97.68
Т.16	27.96	71.59	99.56
Т.17	0.72	97.16	97.87
Т.18	2.18	97.43	99.61
Т.19	0.22	97.62	97.84

Примечание. Анализ проведен на рентгеноспектральном микроанализаторе Jeol JXA-1800 в ДВГИ ДВО РАН. Аналитик В.И. Гвоздев.

рен золота. Внутренняя граница высокопробной оторочки чаще фестончатая, центральная зона золотин – с массивной, монокристаллической структурой. Местами наблюдаются структуры скольжения и дробления (рис. 5*г*). Низкопробное золото (рис. 5*е*) чаще имеет монокристаллическую структуру, характерны значительные колебания мощности прерывистой зонной оторочки. Высокопробные золотины характеризуются зернистым внутренним строением с двойниками (рис. 5*а*, 5*в*, 5*д*).

Типичны структуры зародышевой рекристаллизации, с единичными зародышевыми зёрнами вдоль плоскостей скольжения, участков расланцевания. Зоны частичной рекристаллизации расположены преимущественно по периферии золотин, на краях, у изгибов, а также в локальных зонах около газовой-жидких включений (рис. 5*а*, 5*г*, 5*е*). Границы зон рекристаллизации извилистые. Рекристаллизация проявлена на отдельных деформированных участках зёрен золота размером 0.1-0.5 мм, характеризующихся высокой степенью окатанности и мощной высокопробной оболочкой (рис. 6). Это, вероятно, связано с переотложением части самородного золота из более древних, чем современный аллювий, отложений (Николаева, 1968), где оно находилось в длительном покое под большим давлением, а при абразии данных образований морем освобождалось и попадало в пляжевую россыпь.

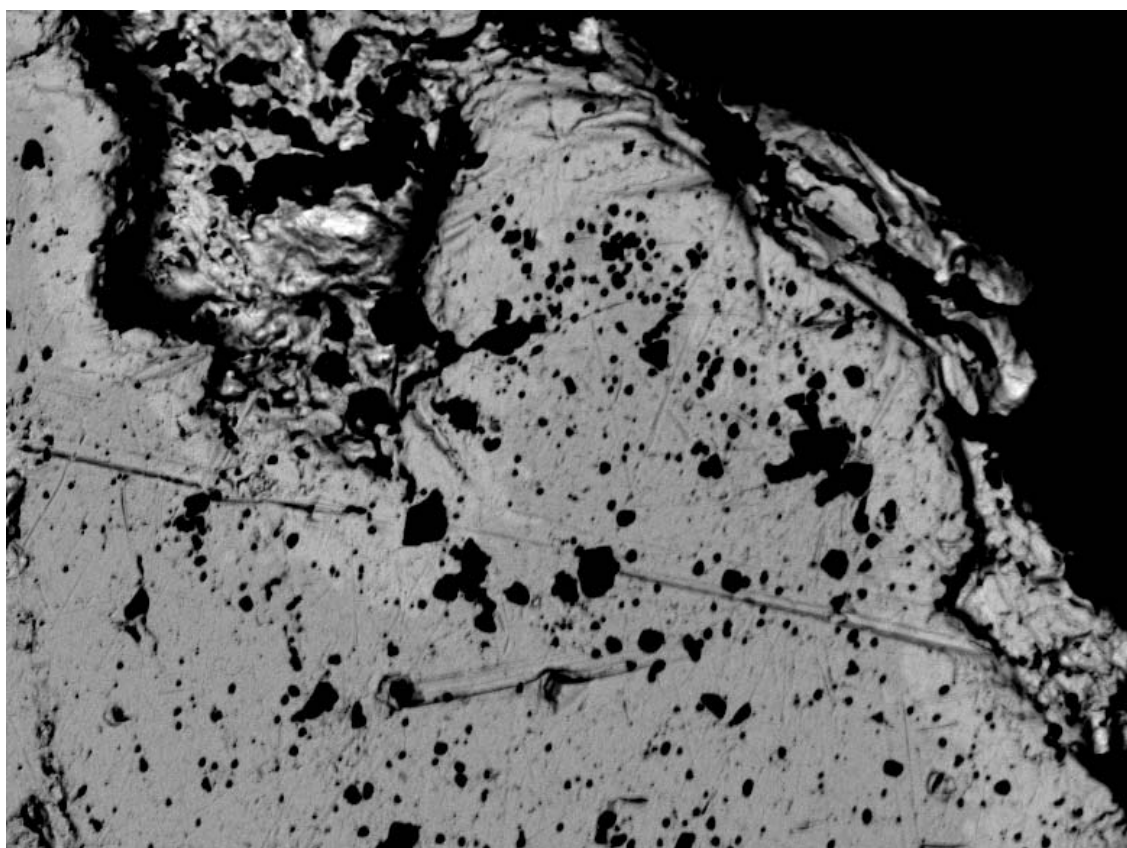


Рис. 6. Фрагмент зерна образца Л-9 с хорошо видимыми структурами рекристаллизации в пределах зернистой высокопробной оторочки.

Состав и содержание элементов-примесей в самородном золоте зависят от продуктивных ассоциаций россыпеобразующих формаций, геохимической специализации района (Петровская, 1973). Концентрации элементов-примесей в золоте варьирует (рис. 7). Наиболее постоянными примесями самородного золота являются железо, медь, ртуть. Кроме этих элементов, встречены мышьяк, сурьма, висмут, титан, олово, указывающие на вероятную принадлежность золота к мало-, среднеглубинному типу золото-кварцевой малосульфидной россыпеобразующей формации; железо, ртуть, мышьяк и сурьма – к золото-сульфидной; никель, кобальт и палладий – к сульфидной медно-никелевой. Присутствие таких элементов, как кремний, алюминий, магний, титан, объясняется наличием в золотилах мелких обломков кварца и других минералов, проникших в ямки и углубления на его поверхности при окатывании.

Размер золотинок золото-кварцевой формации колеблется в широких пределах – от 0.07 до 2 мм, а для золото-сульфидной и сульфидной медно-никелевой формаций – от 0.01 до 0.25 мм. По степени окатанности, форме зерен самородного золота, отнесенного нами к различным россыпеобразующим формациям, никакой закономерности не прослеживается.

В пределах пляжной зоны наблюдается самородное золото двух морфологических типов. К первому относится мелкое лепешковидное, чешуйчатое, хорошо окатанное, высокопробное; ко второму – более крупное комковатое, стружковидное, скрученное, с плохо окатанной, покрытой бороздами поверхностью, которое характеризуется несколько меньшей пробой.

Самородное золото обоих типов наследует типоморфные свойства первичного золота, поступающего в зону пляжа из различных источников: золото-кварцевой, золото-сульфидной, сульфидной медно-никелевой россыпеобразующих формаций. Об этом свидетельствуют как специфический состав элементов-примесей, так и значительные колебания его пробы в отложениях береговой зоны.

Высокая степень окатанности частиц самородного золота, наличие высокопробной оболочки, структур рекристаллизации, следов механических деформаций во внешнем облике и внутренней структуре говорят о многократном его переотложении в процессе транспортировки к прибрежно-морской зоне, а также о волновой переработке в ее пределах.

Наличие штриховки, борозд на поверхности самородного золота в отложениях пляжа, находя-

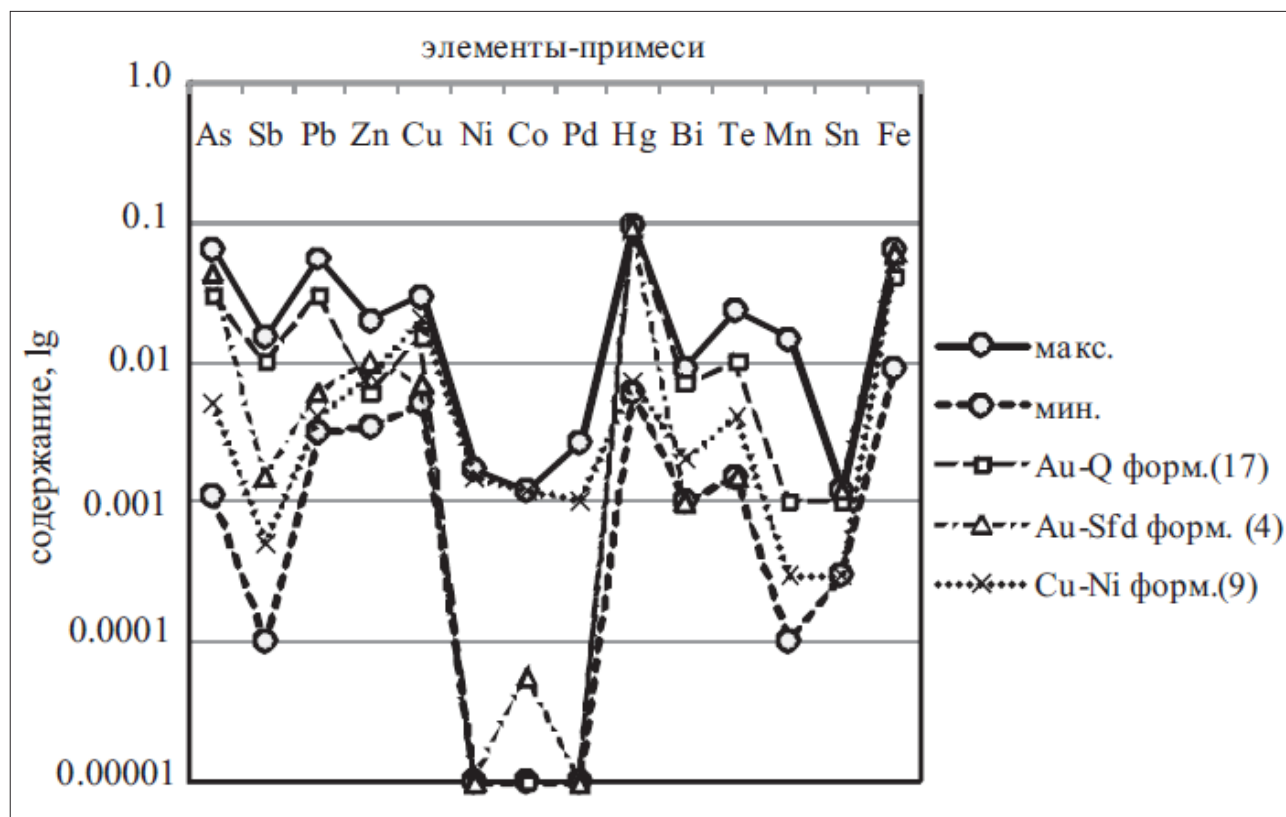


Рис. 7. Вариации содержаний элементов-примесей в самородном золоте прибрежно-морских пляжевых россыпей, отнесенном к различным россыпеобразующим формациям (в скобках – количество анализов).

дение его в сростках с нерудными минералами, плохая сортировка указывают на то, что транспортировка его в береговую зону происходила, скорее всего, в ходе процессов оледенения, а также на недавнее высвобождение при абразии клифа, бенча и подводного берегового склона.

Список литературы

- Беспалый В.Г., Черепанов Г.Ю.* Условия формирования прибрежно-морских россыпей золота Западной Камчатки // Проблемы геологии россыпей. Магадан: Изд-во СВКНИИ ДВО РАН, 1970. С. 358-366.
- Бородаев Ю.С., Еремин Н.И., Мельников Ф.П., Старостин В.И.* Лабораторные методы исследования минералов, руд и пород. М.: Изд-во МГУ, 1988. 296 с.
- Карта полезных ископаемых Камчатской области м-ба 1:500 000. Краткая объяснительная записка. Каталог месторождений, проявлений, пунктов минерализации и ореолов рассеяния полезных ископаемых. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1999. 563 с.
- Кононов В.В., Кунгурова В.Е.* К вопросу о механизме формирования пляжевых золотоносных россыпей на западном побережье Камчатки // Природные и техногенные россыпи и месторождения кор выветривания на рубеже тысячелетий. М.: Наука, 2000. С. 182-183.
- Кононов В.В., Кунгурова В.Е.* Минералогические особенности пляжевых золотоносных россыпей западного побережья Камчатки // Проблемы геологии и металлогении Северо-Востока Азии на рубеже тысячелетий. Магадан: Изд-во СВКНИИ ДВО РАН, 2001. Т. 3. С. 80-82.
- Кононов В.В., Кунгурова В.Е.* Геолого-генетическая модель формирования морских золотоносных россыпей Западной Камчатки // Геология, минералогия и геохимия месторождений благородных металлов Востока России и новые технологии переработки сырья. Благовещенск: Изд-во ИГиП ДВО РАН, 2005. С. 179-181.
- Николаева Л.А.* О преобразовании внутренней структуры золота в россыпях // Тр. ЦНИГРИ. 1968. Вып. 79. С. 83-95.
- Петровская Н.В.* Минеральные ассоциации в золоторудных месторождениях Советского Союза // Тр. ЦНИГРИ. 1967. Вып. 76. С. 78-112.
- Петровская Н.В.* Самородное золото (общая характеристика, типоморфизм, вопросы генезиса). М.: Наука, 1973. 347 с.
- Семенко В.А.* Минералого-геохимическая характеристика золота прибрежно-морских россыпей Западной Камчатки // Геология Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1975. С. 83-89.
- Трухин Ю.П., Кунгурова В.Е., Кононов В.В.* Тонкое и дисперсное золото в прибрежно-морских россыпях юго-западной Камчатки // Тр. симпозиума «Наногеохимия золота», г. Владивосток, 17-18 апреля 2008. Владивосток: Изд-во Дальнаука, 2008. С. 134-140.
- Шило Н.А.* Учение о россыпях. М.: Изд-во Академии горных наук, 2000. 632с.
- Fisher M.S.* The origin and composition of alluvial gold with special reference to the Marobe Goldfield, New Guinea. Bull. Inst. Mining and metallurg, 1935. V. 44. 113 p.

SEVERAL TYPOMORPHIC FEATURES OF GOLD FROM COASTAL BEACH PLACERS OF SOUTH-WESTERN KAMCHATKA

V.Ye. Kungurova, V.A. Stepanov

Research Geotechnological Centre, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683002

The authors studied some typomorphic features of native gold in the beach ore of south-western Kamchatka. Two gold types were distinguished. Gold with flat, lamellate, flaky form, with <0.07 – 0.75mm size, well-rounded and moderate high-standard gold is referred to the first type. The second type includes larger gold of 0.1 – 2 mm size, which is cloddy, chips-like, stranded, with bad-rounded surface covered with furrows; such gold is characterized by a lower standard. High-standard gold envelope of 10-70 micron thickness, as well as structures of embryological, partial and full recrystallization were detected in the beach gold grains. The composition and gold elements-admixtures reveal different removal sources.

Keywords: gold, coastal-marine placers, highstandard envelope, elements- admixtures.